



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH KADAR MANGAN (Mn) TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA PADUAN
Fe-17Cr-xMn MELALUI METODE PELEBURAN**

Imam Syafi'udin
NRP 2712 100 039

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Wikan Jatmurti, S.T., M.Sc

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT – TL141584

**EFFECT OF MANGANESE (Mn) CONTENT ON
MICROSTRUCTURE AND HARDNESS Fe-17Cr-xMn
ALLOY STEEL THROUGH SMELTING METHOD**

Imam Syafi'udin
NRP 2712 100 039

ADVISOR

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Wikan Jatmurti, S.T., M.Sc

Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**PENGARUH KADAR MANGAN (Mn) TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA PADUAN
Fe-17Cr-xMn MELALUI METODE PELEBURAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
IMAM SYAFI'UDIN
NRP 2711200039

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T. M.Sc (Pembimbing 1)
2. Wikan Jatmurti, S.T., M.Sc (Pembimbing 2)



Pengaruh Kadar Mangan (Mn) Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Paduan Fe-17Cr-xMn Melalui Metode Peleburan

Nama : Imam Syafi'udin
NRP : 2712100039
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Dr. Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

ABSTRAK

Baja paduan austenitik Fe-17Cr-xMn dikembangkan dengan melihat pengaruh Mn terhadap struktur mikro dan kekerasan baja austenitik dengan komposisi Fe-17~18Cr-3~5Ni-4~11Mn. Paduan dengan 10.2%Mn menjadi komposisi minimal agar paduan Fe-17Cr-xMn bisa membentuk fasa austenit seluruhnya. Kekerasan maksimum dicapai pada komposisi mangan (Mn) 10.7 %wt dan kekerasan ini lebih besar daripada SS304 dan SS201. Pada temperatur kamar, Paduan Fe-17Cr-10Mn dan Fe-17Cr-12Mn masih terdapat fasa ferit karena komposisi mangan (Mn) sebagai unsur penstabil austenit pada paduan tersebut belum cukup untuk membentuk austenit seluruhnya. Sedangkan, paduan Fe-17Cr-14Mn dan Fe-17Cr-16Mn telah menjadi baja paduan austenitik, namun terdapat fasa senyawa karbida krom. Dengan peningkatan komposisi mangan (Mn), menurunkan jumlah fasa ferit dan meningkatkan jumlah fasa austenit. Namun pada komposisi Cr dan C yang tinggi, meningkatkan kecenderungan terbentuk senyawa karbida krom. Peningkatan komposisi mangan (Mn) meningkatkan nilai kekerasan paduan Fe-17Cr-xMn.

Kata kunci : Baja Paduan Austenitik, Mangan, Struktur mikro, Kekerasan,

Effects of Manganese (Mn) Content On Microstructure and Hardness Fe-17Cr-xMn Alloy Steel Through Smelting Method

Name : Imam Syafi'udin
NRP : 2712100039
Departement : Materials dan Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

ABSTRACT

Austenitic steel alloy Fe-17Cr-xMn developed by examining the effect of Mn on the microstructure and hardness of austenitic steel containing Fe-17~18Cr- 3 ~5Ni-4~11Mn. Alloy with 10.2% Mn is found to be a minimal Mn content so that the Fe-17Cr-xMn alloy can form full austenite phase. The maximum hardness is achieved on the composition of manganese (Mn) 10.7% Mn and this value is higher than the SS304 and SS201. At room temperature, Fe-17Cr Alloy-10 Mn and Fe-17Cr-12Mn still contain ferrite phase due to the composition of manganese (Mn) as an austenite stabilizing element in the alloy is not enough to form a fully austenitic. While the alloy Fe-17Cr-14Mn and Fe-17Cr-16Mn success become austenitic alloy steel, but there is a chromium carbide. With the increase of the manganese (Mn) content, ferrite phase decreased and the austenite phase increased, but at high content of Cr and C, the tendency to form chromium carbide increased. With the increase of manganese (Mn) content increases the hardness value of Fe-17Cr-xMn alloy.

Keyword : Austenitic steel alloy, Manganese, mikrostructure, hardness

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karenadengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Kadar Mangan (Mn) Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Paduan Fe-17Cr-xMn Melalui Metode Peleburan”**.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada jurusan studi Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS melalui mata kuliah Tugas Akhir yang diselenggarakan pada semester 7. Dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini penulis memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materiil. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan kerja praktik ini.
2. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi kepada penulis.
3. Bapak Dr Agung Purniawan, ST., M.Eng_selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
4. Bapak Lukman Noerochim,. M.Sc.ENG selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Eng Hosta Ardyhananta S.T., M.Sc dan Bapak Wikan Jatimurti S.T., M.Sc selaku pembimbing tugas akhir yang telah banyak membantu dan selalu memberikan motivasi kepada penulis.
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan selama perkuliahan.

7. Bapak Toto, Bapak Abdul, Bapak Paiman, Bapak Anto, Bapak Moko, Bapak Tari, Bapak Chanan, Bapak Ridho selaku mentor dan pranata Lab yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir.
8. Semua sahabat dan teman-teman penulis yang senantiasa membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
9. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses tugas akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis agar buku laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi pembaca. Namun laporan ini masih banyak kekurangan sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik untuk menyempurnakan laporan ini.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|-------------------------------|-------------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | v |
| ABSTRAK..... | vii |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xv |
| DAFTAR TABEL..... | xvii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

| | |
|---|----|
| 2.1 Baja Karbon dan Baja Paduan..... | 5 |
| 2.2 Kromium | 7 |
| 2.3 Nikel..... | 10 |
| 2.4 Mangan..... | 11 |
| 2.5 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja | 13 |
| 2.6 Paduan Baja Tahan Karat Fe-Cr-Mn..... | 17 |
| 2.7 Proses Dekarburasi pada Pembuatan Baja Tahan Karat | 25 |
| 2.8 Proses Peleburan Logam | 29 |

BAB III METODOLOGI

| | |
|------------------------|----|
| 3.1 Diagram Alir | 39 |
| 3.2 Bahan..... | 40 |
| 3.3 Alat..... | 40 |

| | |
|---|-------------|
| 3.4 Prosedur Percobaan | 41 |
| 3.5 Proses Pengujian..... | 42 |
| 3.6 Rancangan Penelitian | 46 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Coran Baja Paduan Fe-Cr-Mn..... | 47 |
| 4.2 Komposisi Kimia Baja Paduan Fe-17Cr-xMn..... | 48 |
| 4.3 Analisis Fasa Baja paduan Fe-17Cr-xMn..... | 51 |
| 4.4 Struktur Mikro Baja Paduan Fe-17Cr-xMn..... | 55 |
| 4.5 Pengaruh Mn terhadap kekerasan Fe-17Cr-xMn..... | 57 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 61 |
| 5.2 Saran..... | 61 |
| DAFTAR PUSTAKA | xix |
| LAMPIRAN | xxi |
| BIODATA PENULIS | xxxv |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Diagram fasa Fe-Fe ₃ C..... | 6 |
| Gambar 2.2 | Diagram Fasa Fe-Cr dan Mn-Cr..... | 9 |
| Gambar 2.3 | Diagram fasa Fe-Ni | 10 |
| Gambar 2.4 | Diagram fasa biner Fe-Mn..... | 12 |
| Gambar 2.5 | Pengaruh penambahan Cr terhadap daerah austenite pada diagram Fe-Fe ₃ C | 14 |
| Gambar 2.6 | Pengaruh beberapa unsur paduan terhadap temperature eutectoid | 15 |
| Gambar 2.7 | Pengaruh penambahan Mn pada diagram fasa Fe-Fe ₃ C | 16 |
| Gambar 2.8 | Pengaruh Cr terhadap penurunan kekerasan setelah tempering..... | 17 |
| Gambar 2.9 | Pengaruh kadar karbon terhadap kekuatan dan ketahanan korosi..... | 18 |
| Gambar 2.10 | Diagram fasa terner Fe-Cr-Mn (kiri) dan diagram schaeffler (kanan) untuk memprediksi fasa pada <i>stainless steel</i> | 20 |
| Gambar 2.11 | Struktur mikro dan hasil analisa XRD pada temperatur 1000 ⁰ C (a) 8.03wt%Mn; (b) 9.80wt%Mn; (c) 11.95wt%Mn | 25 |
| Gambar 2.12 | Skema proses AOD (<i>argon oxygen decarburization</i>) | 26 |
| Gambar 2.13 | Pengaruh temperatur dan tekanan CO terhadap komposisi karbon dan krom..... | 28 |
| Gambar 2.14 | Skema dari proses VOD pada proses pembuatan baja tahan karat..... | 30 |
| Gambar 2.15 | Skema dari proses Peleburan pada <i>Electric Arc Melting</i> | 31 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.16 | Skema dari dapur peleburan jenis <i>induction melting</i> | 32 |
| Gambar 2.17 | Skema dari dapur krusibel | 33 |
| Gambar 2.18 | Bentuk dari dapur kupola tampak dari sisi samping..... | 34 |
| Gambar 2.19 | Contoh cetakan pasir yang digunakan pada proses pengecoran | 35 |
| Gambar 2.20 | Tipe cetakan permanen yang digunakan dalam prose pengecoran | 36 |
| Gambar 2.21 | Skema proses <i>continuous casting</i> | 37 |
| Gambar 2.22 | Proses solidifikasi pada didalam cetakan..... | 38 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian | 39 |
| Gambar 3.2 | Skema Alat <i>Arc Furnace</i> | 40 |
| Gambar 3.3 | Skema proses OES untuk mengetahui komposisi kimia | 43 |
| Gambar 3.4 | Mekanisme terbentuknya sianr X untuk pengujian XRD | 43 |
| Gambar 3.5 | Mekanisme mikroskop optic sehingga terlihat oleh mata perbedaan gelap-terang. | 44 |
| Gambar 3.6 | Mekanisme uji kekerasan brinel | 46 |
| Gambar 4.1 | Coran paduan (a) Fe-17Cr-10Mn (b) Fe-17Cr-12Mn (c) Fe-17Cr-14Mn (d) Fe-17Cr-16Mn .. | 47 |
| Gambar 4.2 | Pola XRD untuk paduan Fe-17Cr-10Mn, Fe-17Cr-12Mn Fe-17Cr-14Mn Fe-17Cr-16Mn | 51 |
| Gambar 4.3 | Struktur mikro (a) Fe-17Cr-10Mn (b) Fe-17Cr-12Mn | 55 |
| Gambar 4.4 | Struktur mikro (a) Fe-17Cr-14Mn (b) Fe-17Cr-16Mn | 56 |
| Gambar 4.5 | Pengaruh perubahan komposisi mangan terhadap kekerasan baja paduan Fe-17Cr-xMn | 58 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Komposisi kimia dan sifat mekanik beberapa jenis baja karbon rendah | 6 |
| Tabel 2.2 | Perbandingan sifat mekanik baja karbon medium (1040) dengan baja karbon tinggi (1080 dan 1095)..... | 7 |
| Tabel 2.3 | Komposisi baja AISI 201 | 23 |
| Tabel 2.4 | Sifat mekanik AISI 201 | 24 |
| Tabel 3.1 | Komposisi <i>raw material input</i> | 42 |
| Tabel 3.2 | Rancangan penelitian..... | 46 |
| Tabel 4.1 | Komposisi <i>raw material input</i> | 48 |
| Tabel 4.2 | Komposisi Kimia Hasil Pengujian OES | 50 |
| Tabel 4.3 | Prediksi fasa menggunakan diagram schaeffler dan hasil pengujian XRD..... | 54 |
| Tabel 4.4 | Kekerasan paduan Fe-17Cr-xMn (10,12,14,16%Mn)..... | 57 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja tahan karat austenitik seperti seri 310 dan 304 adalah baja tahan karat yang banyak digunakan sebagai material struktur pada beberapa sektor industri karena memiliki kekuatan tinggi, kekerasan, ketahanan aus, dan mampu bentuk yang baik. Selain itu, sesuai dengan namanya baja tahan karat memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi dibandingkan dengan baja paduan yang lain. Beberapa komponen industri khususnya industri makanan dan obat-obatan mengharuskan pemakaian baja tahan karat karena sifat istimewanya ini. Harga baja tahan karat yang tinggi membuat pemakaian baja tahan karat sangat terbatas. Harga baja tahan karat austenitik sangat dipengaruhi oleh tingginya harga nikel (Ni) sebagai unsur penstabil austenit. Penelitian tentang baja tahan karat austenitik yang lebih murah terus dikembangkan hingga diperoleh baja tahan karat austenitik yang murah namun bisa mempertahankan sifat mekanik, ketahanan korosi dan ketahanan aus.

Untuk beberapa alasan baja tahan karat Fe-Cr-Mn banyak dikembangkan sebagai pengganti unsur nikel (Ni) yang mahal dengan unsur Mn yang murah. Mangan (Mn) merupakan unsur penstabil austenit. Unsur mangan juga merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekerasan secara signifikan, bahkan beberapa literatur mengatakan bahwa Mn lebih efektif daripada karbon. Peningkatan nilai kekerasan suatu baja paduan selalu diikuti oleh peningkatan ketahanan ausnya. Beberapa penelitian telah berhasil membuktikan bahwa unsur mangan (Mn) telah berhasil menjadi unsur penstabil austenit yang baik dan

meningkatkan sifat mekanik. J.Li et al telah meneliti bahwa unsur mangan mampu meningkatkan kekuatan dan sifat ketahanan *pitting corrosion* baja tahan karat, begitu juga dengan Toor et al juga telah melakukan penelitian tentang korosi dan sifat mekanik pada baja tahan karat dengan Mn-N tinggi. Namun pengaruh Mn terhadap sifat kekerasan dan kemampuan sebagai penstabil austenit belum diteliti lebih lanjut.

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan baja tahan karat austenitik yang memiliki sifat mekanik yang baik dengan menguji pengaruh unsur mangan (Mn) terhadap struktur mikro, fasa yang terbentuk baik fasa utama maupun fas-fasa presipitat pada baja tahan karat dan terhadap kekerasan baja tahan karat austenitik Fe-17Cr-xMn.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh kadar Mn terhadap struktur mikro baja paduan Fe-17Cr-xMn?
2. Bagaimana pengaruh kadar Mn terhadap kekerasan baja paduan Fe-17Cr-xMn?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Proses pemaduan dianggap homogen.
2. Laju pendinginan dianggap equilibrium.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh kadar Mn terhadap struktur mikro baja paduan Fe-17Cr-xMn
2. Menganalisa pengaruh kadar Mn terhadap kekerasan baja paduan Fe-17Cr-xMn.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan baja paduan Fe-17Cr-xMn dengan biaya produksi lebih rendah dengan sifat mekanik yang baik, serta dapat menjadi bahan literatur pengembangan baja paduan Fe-17Cr-xMn.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

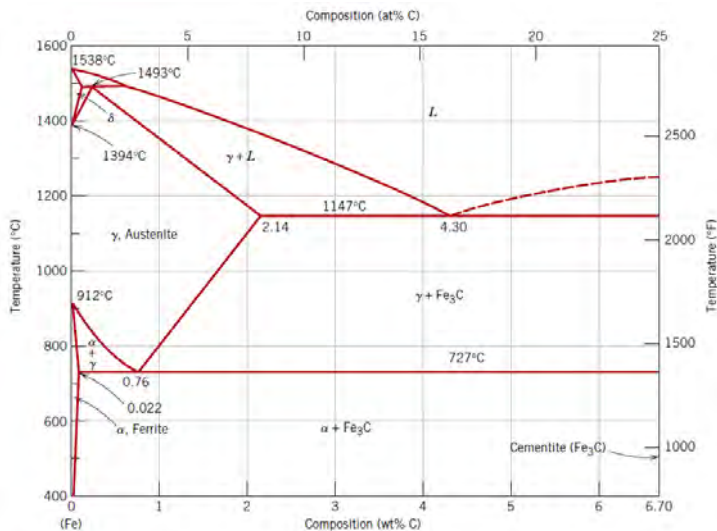
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon dan Baja Paduan

Secara umum baja dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*). Baja karbon bukan berarti sama sekali tidak mengandung unsur lain selain karbon, namun karena jumlahnya yang sangat sedikit maka tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat baja. Sebagai contoh, baja karbon memiliki kandungan mangan tidak lebih dari 0.5% dapat disebut sebagai baja karbon karena penambahan mangan tidak merubah sifat dari baja tersebut. Untuk menaikkan kekuatan dan kekerasan pada baja karbon adalah dengan menaikkan kadar karbon, namun biasanya keuletan dan ketangguhannya turun. Padahal untuk tujuan tertentu dibutuhkan baja dengan kekuatan tinggi namun keuletan dan ketangguhannya juga tinggi, maka dibuatlah baja paduan (Callister, 2009)

Berdasarkan komposisi kimia baja dapat dibedakan menjadi beberapa, tipe antara lain baja karbon rendah, karbon medium dan karbon tinggi. Diagram fasa Fe-Fe₃C pada Gambar 2.1 menunjukkan klasifikasi baja berdasarkan kadar karbonnya. Sedangkan untuk baja paduan dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja paduan rendah dan baja paduan tinggi. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon dibawah 0.25%. Baja jenis ini memiliki sifat ulet namun kekuatan dan kekerasan rendah. Baja karbon rendah mudah untuk dibentuk dan di *machining* namun tidak dapat dikeraskan membentuk martensit. Biasanya digunakan untuk baja konstruksi, mur dan baut, pelat dan lain-lain. Tabel merupakan contoh dari komposisi dan sifat mekanik dari beberapa jenis baja karbon rendah.



Gambar 2.1 Diagram fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2009)

Tabel 2.1 Komposisi kimia dan sifat mekanik beberapa jenis baja karbon rendah (Callister, 2009)

| AISI/ASTM | Komposisi kimia | | | Sifat mekanik | | |
|---------------|-----------------|------|----------|---------------|----------------------|----------------|
| | %C | %Mn | Lainnya | UTS (MPa) | Kekuatan luluh (MPa) | Keuletan (%EL) |
| 1010 | 0.1 | 0.45 | | 325 | 180 | 28 |
| 1020 | 0.2 | 0.45 | | 380 | 210 | 25 |
| A36 | 0.29 | 1.0 | 0.2%Cu | 400 | 220 | 23 |
| A516 grade 70 | 0.31 | 1.0 | 0.25% Si | 485 | 260 | 21 |

Dari Tabel 2.1 diketahui bahwa dengan naiknya kadar karbon pada baja, UTS dan kekuatan luluhnya juga semakin tinggi, namun keuletannya turun. Baja karbon medium merupakan baja karbon dengan kadar karbon antara 0.25-0.6%. fase yang terjadi pada temperature kamar adalah ferit dan perlit, namun fase perlit

lebih banyak dibandingkan ferit. Sehingga kekuatan dan kekerasannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, namun keuletannya rendah jadi relatif getas. Baja ini dapat dilakukan perlakuan panas seperti *quenching* dan *tempering*. Baja ini memiliki *hardenability* rendah dan dapat dikeraskan bila dimensinya tipis. Baja karbon jenis ini biasa digunakan sebagai konstruksi mesin seperti poros, roda gigi, batang torak dan lain-lain.

Baja karbon tinggi adalah baja dengan kadar karbon lebih dari 0.6%. baja karbon ini adalah baja yang paling keras, paling kuat dan paling rendah keuletannya bila dibandingkan dengan baja karbon rendah maupun medium. Biasanya digunakan untuk komponen yang membutuhkan *wear resistance* tinggi seperti alat potong. Tabel 2.2 merupakan perbandingan antara baja karbon tinggi dan medium.

Tabel 2.2 Perbandingan sifat mekanik baja karbon medium (1040) dengan baja karbon tinggi (1080 dan 1095) (Callister, 2009)

| AISI | UTS (MPa) | Kekuatan luluh (MPa) | Keuletan (%EL) | Aplikasi |
|------|-----------|----------------------|----------------|-------------------------|
| 1040 | 605-780 | 430-585 | 33-19 | <i>Crankshaft, baut</i> |
| 1080 | 800-1310 | 480-980 | 24-13 | Palu, pahat |
| 1095 | 760-1280 | 510-830 | 26-10 | Pisau, <i>hacksaw</i> |

2.2 Kromium

Kromium ditemukan sekitar 200 tahun yang lalu di pertambangan Berosof, Pegunungan Ural. Pada awalnya ditemukan dalam bentuk batuan hitam yang dinamakan chromite (FeCr_2O_4). Pada awal abad 18, *chromite* diproduksi untuk kebutuhan yang berhubungan dengan kimia dan industri cat. Penggunaan kromium pada baja pertama kali dilakukan pada 1865 saat perkembangan *aluminothermic electric arc furnace* dapat meleburkan *chromite*, penggunaan pertamanya pada *stainless steel*. Pada tahun 1920-an *electroplating* mulai

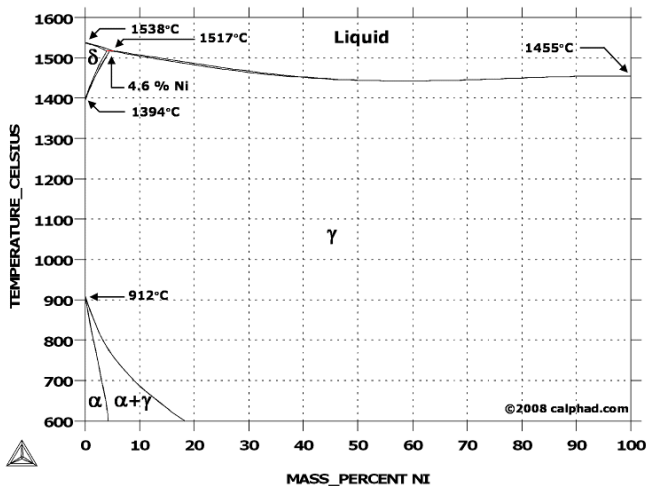
berkembang, dimana *electroplating* mengikat atom Cr dengan atom dari unsur yang ada dipermukaan yang membuat ikatan menjadi kuat. (Guertin, 2005)

Logam kromium berwarna mengkilap dan keabu-abuan. Logam ini bersifat keras dan getas, memiliki titik lebur 1857°C dan titik uap 2672°C . Cr diproduksi dalam dua bentuk: *ferrochrome* dan logam Cr dari reduksi Cr_2O_3 . *Ferrochrome* diproduksi dengan reduksi FeCr_2O_4 menggunakan kokas dengan *electric arc furnace*. Paduan Fe-Cr biasa digunakan untuk memproduksi *stainless* dan baja kromium. Diagram fasa pada gambar 2.2 menunjukkan hasil paduan antara Cr-Fe dan Cr-Mn. Penambangan *chromite* dilakukan lebih dari 20 negara, tapi 81% produksi dikonsentrasikan di empat Negara: Afrika Selatan sekitar 49% dan 32% di Kazakhstan, India dan sisanya di Turki. Sekitar 95% sumberdaya Cr dikonsentrasikan di Afrika Selatan. (Guertin, 2005)

2.3 Nikel

Nikel adalah unsur dengan dengan nomor atom 28 serta memiliki lambang Ni. Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dari nikel. Tabel 2.2 menunjukkan sifat mekanik dari logam nikel. Nikel merupakan unsur yang termasuk dalam logam transisi, berbentuk padat (*solid*) saat temperatur kamar.

Nikel adalah logam berwarna perak pertama kali di temukan sekitar tahun 1751 namun digunakan dalam paduan sejak jaman dahulu kala. Nikel memiliki ketahanan korosi pada atmosfer yang tinggi. Nikel juga tahan pada sebagian besar asam. Bahkan nikel tahan terhadap serangan asam yang mengoksidasi nikel seperti asam nitrit. *Ore* nikel merupakan nikel sulfida dan oksida nikel. Nikel dihunakan dalam beberapa pembuatan paduan yang populer. Nikel digunakan dalam *stainless steel*, *alloy steel*, dan logam *non- ferrous*. (Brady, 2002). Gambar 2.4 menunjukkan diagram fasa Fe-Ni



Gambar 2.3 Diagram fasa Fe-Ni (Kubaschewski, 1982)

Nikel adalah logam yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan tahan terhadap serangan asam. Nikel banyak digunakan pada paduan *stainless steel*, baja nikel dan logam *non-ferrous* serta *electroplating*. Nikel dikomersilkan dengan berbagai bentuk, yaitu ferronikel dan nikel 99%. Nikel juga digunakan pada material elektronik, material *aerospace*, *chemical processing equipment*, dan *food processing equipment*. Nikel pada material elektronik digunakan sebagai anoda, katoda dan *current collector*. (Schwartz, 2002)

Nikel juga merupakan material umum yang digunakan sebagai *coating materials*. Biasanya diaplikasikan pada material logam lainnya dan sebagian plastic. Pada pengaplikasiannya, digunakan dengan cara *electroplating* (Brady, 2002)

Nikel adalah unsur penstabil yang kuat. Paduan nikel dan kromium digunakan dalam paduan *stainless steel* tipe 300. *Stainless steel* ini merupakan *stainless steel* austenitik yang non-magnetik. Nikel pada paduan ini berperan sebagai penahan korosi namun fungsi utamanya adalah pembentuk dan penstabil austenit. (Schwartz, 2002)

2.4 Mangan

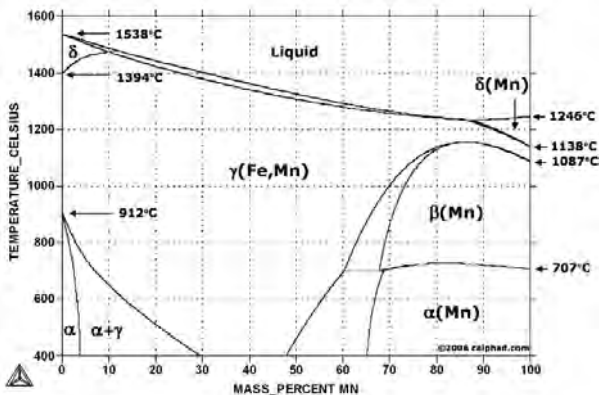
Mangan adalah unsur dengan simbol, Mn. Nama mangan berasal dari Bahasa latin, *magnes*, yang memperlihatkan sifat magnetik dari pyrolusit. Berwarna keabu-abuan dan bersifat getas. Sifatnya hampir sama dengan besi namun mangan lebih ringan dan lebih keras. Mangan memiliki empat bentuk alotropi, yaitu Alpha mangan, beta mangan, gamma mangan, dan delta mangan. Logam ini akan menguap pada temperatur 2061°C. (Cardarelli, 2008).

Di alam, mangan ditemukan dalam bentuk mineral, seperti alabandit (MnS), pirolusit (MnO₂), haussmanit (Mn₃O₄), Jacobsit (MnFe₂O₄) dll. Proses pemurnian mangan ada dua macam, yaitu *electrowinning* dan *electrothermall*. Mangan biasanya diproduksi dalam bentuk ferromangan dan silikomangan. Ferromangan (Fe-Mn-C) mengandung lebih dari

76% Mn dan 7.5% C untuk karbon tinggi, 1-1.5% C untuk karbon menengah, dan kurang dari 1% untuk karbon rendah. Sedangkan silikomangan (Si-Mn-C) mengandung 65-85% Mn, 14-16% Si, dan 2% C. (Cardarelli, 2008)).

Pada temperatur kamar, mangan murni tidak diserang oleh oksigen, nitrogen, atau hydrogen. Namun, pada temperatur tinggi mangan sangat bereaksi dengan oksigen, sulfur, dan fosfor. Oleh karena itu, mangan digunakan pada industri pembuatan besi dan baha sebagai agen reduksi, desulfurisasi, dan defosforisasi. Mangan larut dengan cepat pada kondisi asam. (Cardarelli, 2008)

Perusahaan baja melaporkan bahwa penggunaan mangan sekitar 90%. Baja karbon dengan 70% konsumsi mangan. 30% penggunaan mangan untuk agen desulfurisasi dan deoksidasi, dan 70% digunakan dalam bentuk murni sebagai unsur paduan. Gambar 2.3 merupakan diagram fasa Fe-Mn yang digunakan sebagai acuan untuk pembuatan paduan baja mangan. Mangan adalah unsur penstabil austenit dengan dikombinasikan dengan nitrogen, sebagai pengganti nikel yang harganya lebih mahal. Mangan juga menaikkan hardenability. Selain untuk industry baja, mangan juga digunakan di baterai, industry kimia, dan unsur paduan. (Cardarelli, 2008).



Gambar 2.4 Diagram fasa biner Fe-Mn (Kubaschewski, 1982)

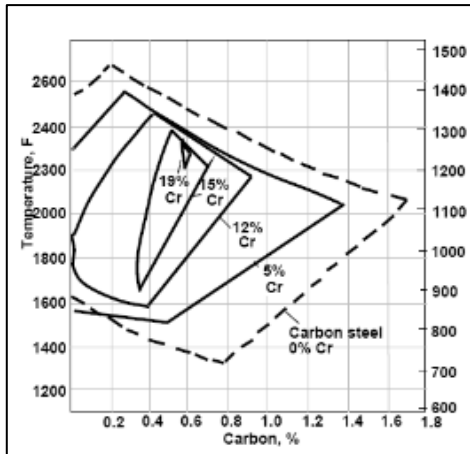
2.5 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja

Beberapa tujuan dari penambahan unsur paduan antara lain :

1. Meningkatkan *hardenability*
2. Memperbaiki kekuatan pada temperature kamar
3. Memperbaiki sifat mekanik pada temperatur rendah maupun tinggi
4. Memperbaiki ketangguhan
5. Meningkatkan *wear resistance*
6. Meningkatkan ketahanan korosi

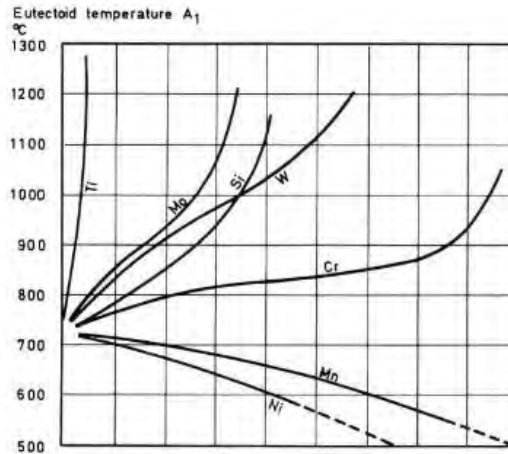
Untuk mencapai tujuan diatas tentu harus dikenali bagaimana pengaruh penambahan suatu unsur paduan dalam jumlah tertentu terhadap sifat dari baja.

Beberapa unsur paduan dapat bertindak sebagai pembentuk dan penstabil ferit. Jika unsur-unsur pembentuk dan penstabil ferit ditambahkan pada baja maka ferit akan menjadi lebih stabil pada temperature tinggi, artinya ferit lebih sulit bertransformasi menjadi austenite. Akibatnya baja paduan ini akan memiliki kekuatan tinggi meskipun berada pada temperature tinggi. Hampir semua unsur merupakan penstabil ferit, kecuali Ni dan Mn. Namun unsur yang memiliki pengaruh besar terhadap kestabilan austenite adalah Cr. Gambar 2.5 memperlihatkan pengaruh penambahan krom pada baja terhadap diagram fasa. Semakin tinggi kadar krom yang ditambahkan, daerah austenite semakin sempit, temperatur transformasi austenit juga naik.



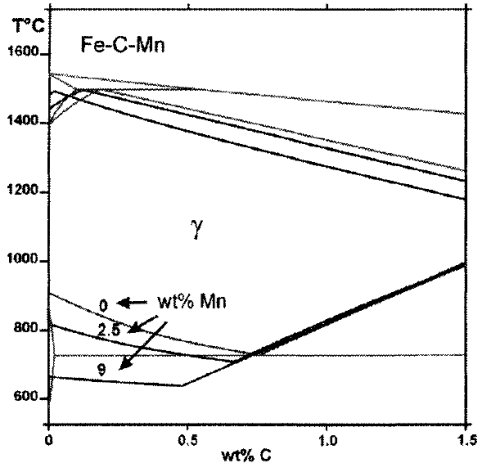
Gambar 2.5 Pengaruh penambahan Cr terhadap daerah austenite pada diagram Fe-Fe₃C (Avner, 1974)

Karakteristik kedua adalah pembentuk dan penstabil austenit. Bila penstabil ferit mengakibatkan ferit lebih stabil pada temperature tinggi, maka dengan penambahan unsur penstabil austenit, fasa austenite akan lebih stabil pada temperature rendah. Sehingga meskipun pada temperature rendah baja ini masih banyak terdapat fasa austenite dan sifat mekaniknya tetap ulet. Penambahan unsur paduan penstabil austenite sangat sesuai bila diinginkan keuletan tinggi pada temperature kamar. Unsur pada kelompok ini adalah Ni dan Mn. Ni merupakan penstabil austenite yang sangat kuat, namun tidak seperti Ni, Mn merupakan penstabil austenite yang lemah.



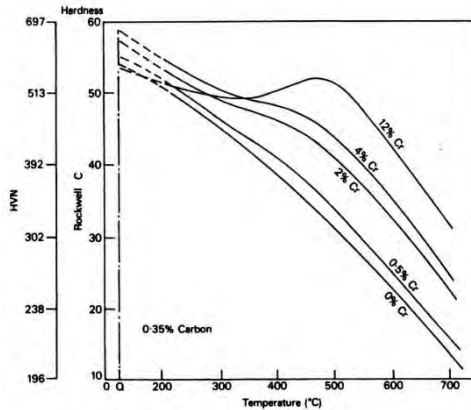
Gambar 2.6 Pengaruh beberapa unsur paduan terhadap temperature eutectoid (Avner, 1974)

Dapat dilihat pada gambar 2.6 bahwa hanya Mn dan Ni yang menurunkan temperatur eutektoid, artinya dengan turunnya temperature eutektoid maka austenite akan lebih sulit bertransformasi menjadi ferit. Dan untuk bertransformasi butuh temperatur lebih rendah dari yang seharusnya. Dari gambar 2.6 juga terlihat bahwa grafik penambahan Ni lebih curam dibandingkan penambahan Mn. Dan gambar 2.7 memperlihatkan pengaruh Mn terhadap daerah austenit. Semakin tinggi kadar Mn yang diberikan daerah austenit menjadi semakin luas.



Gambar 2.7 Pengaruh penambahan Mn pada diagram fasa Fe-Fe₃C (Avner, 1974)

Selanjutnya adalah unsur pembentuk karbida. Unsur-unsur ini antara lain Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta dan Zr. Unsur-unsur pembentuk karbida akan memberikan kekuatan dan kekerasan yang tinggi terhadap baja paduan. Baja jenis ini biasanya digunakan untuk komponen yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi seperti *tool steel*. Selain unsur pembentuk karbida ada juga unsur penstabil karbida. Tidak semua unsur pembentuk karbida juga bertindak sebagai penstabil karbida, begitu pula sebaliknya. Unsur penstabil karbida antara lain Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti, Nb, Ta. Beberapa unsur bukanlah unsur pembentuk karbida namun dapat bertindak sebagai penstabil karbida. Gambar 2.8 menunjukkan bahwa dengan penambahan unsur Cr maka kekerasan setelah tempering tidak turun secara drastis. Sehingga tegangan dalam hilang namun kekerasan dan kekuatan tidak turun terlalu banyak.



Gambar 2.8 Pengaruh Cr terhadap penurunan kekerasan setelah tempering (Avner, 1974)

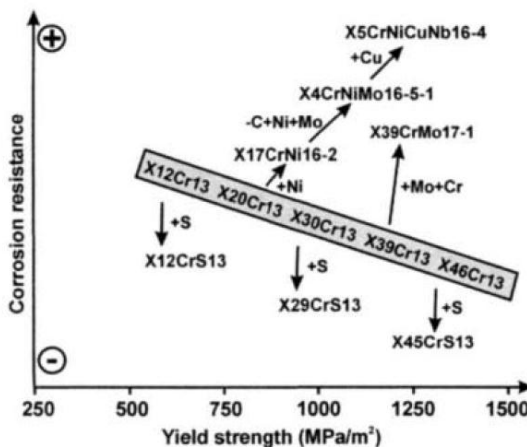
2.6 Paduan Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*) Fe-Cr-Mn

Semua logam cenderung bereaksi dengan oksigen di lingkungan membentuk lapisan oksida pada permukaan. Begitu juga dengan baja, baja merupakan logam yang mudah terkorosi apabila berada pada lingkungan yang korosif. Untuk mengatasi hal ini biasanya dibutuhkan upaya untuk mengendalikan korosi baik dengan pelapisan, anoda tumbal maupun arus paksa. Namun tentu perlindungan yang diberikan terbatas.

Baja tahan karat merupakan salah satu *high alloy steel* terutama adalah paduan Cr. Baja tahan karat mengandung kromium lebih dari 10.5% (Baddo, Burgan, & Orgen, 1997). Baja paduan jenis ini merupakan baja yang memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi. Adanya oksida krom pada baja akan membentuk lapisan oksida pada permukaan baja. Lapisan tipis ini melindungi baja dari lingkungan. *Stainless steel* dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis antara lain Feritik, austenitic, martensitic dan duplex.

Baja tahan karat martensitic merupakan baja tahan karat yang memiliki kadar krom paling rendah diantara jenis lainnya, kadar krom pada jenis ini adalah 12-15%Cr dan 0.1-0.15% C. Seperti

namanya martensitik baja tahan karat ini mengkombinasikan kekuatan dari fase martensit dan ketahanan korosi dari krom, dengan adanya lapisan tipis pada permukaan ini, kromium melindungi baja dari korosi. Komposisi baja tahan karat martensitik didasarkan pada kombinasi antara kekuatan, ketangguhan dan ketahanan terhadap korosi. Beberapa modifikasi komposisi dari baja ini menghasilkan kesimpulan bahwa dengan bertambahnya karbon dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan, namun ketahanan korosinya turun. Penambahan nikel meningkatkan ketangguhan. Gambar 2.9 memperlihatkan bahwa dengan bertambahnya kadar karbon dari 0.12% sampai 0.46% menunjukkan penurunan ketahanan korosi, namun kekeautannya naik (Durand & Charre, 2003).



Gambar 2.9 Pengaruh kadar karbon terhadap kekuatan dan ketahanan korosi. (Durand & Charre, 2003)

Jenis yang kedua adalah baja tahan karat feritik, baja jenis ini merupakan baja dengan fase ferit pada semua temperatur. Pembentukan ferit sangat dipengaruhi oleh kadar krom yang tinggi dan kadar penstabil austenit seperti Ni dan Mn rendah. Baja

ini memiliki karakteristik tidak dapat dikeraskan, magnetic dan dapat di *cold work* maupun *hot work*. Bila dibandingkan dengan martensitic, kelompok baja tahan karat ini lebih tahan korosi karena kadar krom juga tinggi yaitu 14-27%Cr. Berdasarkan AISI baja tahan karat jenis feritik merupakan baja tahan karat seri 400.

Dan jenis baja yang paling banyak diproduksi didunia adalah baja seri 300 yaitu baja tahan karat austenitik. Baja jenis ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya sifat ketahanan korosi paling baik diantara jenis lainnya. Selain itu memiliki kekuatan dan kekerasan tinggi sekaligus keuletan juga tinggi. Jenis baja tahan karat austenitic mengandung krom lebih dari 23% dan menggunakan Ni atau Mn sebagai penstabil austenit. Karakteristik dari ba ja jenis ini adalah mudah di*hotwork*, tapi sulit di*coldwork*, non magnetic dan tidak dapat dikeraskan. Semakin tinggi kadar Ni dalam baja tahan karat maka austenit akan semakin stabil pada temperatur kamar. Untuk mendapatkan fasa yang diinginkan biasanya digunakan diagram schaeffler (gambar 2.10). Diagram tersebut dapat memprediksi fasa apakah yang akan terbentuk bila komposisi baja tahan karat diubah-ubah.

Untuk memperbaiki sifat baja tahan karat, baja tahan karat dapat diberikan beberapa unsur paduan. Unsur paduan yang ditambahkan akan memberikan sifat yang berbeda pada *stainless steel*. Berikut adalah pengaruh unsur paduan pada *stainless steel*:

- Kromium (Cr)

Kromium merupakan elemen penting dalam pembentukan *stainless steel*. Baja dapat dikatakan menjadi *stainless steel* jika mengandung Cr minimal 10.5%. Selain penambahan ketahanan korosi, kromium membuat ketahanan terhadap oksidasi temperature tinggi serta membentuk struktur mikro ferrite.

- Nikel (Ni)

Alasan penambahan nikel pada *stainless steel* adalah untuk menstabilkan austenite agar menambah keuletan dan ketangguhan. nikel juga akan menjadikan ketahanan korosi yang lebih tinggi terhadap lingkungan asam. Pada precipitation hardening *stainless steel* nikel berfungsi sebagai penambah kekuatan serta memperbaiki weldability.

- Molybdenum (Mo)

Molybdenum pada dasarnya ditambahkan untuk menambah ketahanan korosi. Pada *stainless steel* Mo juga menambah kekuatan dan membentuk struktur mikro ferrit. Pada martensitic stainless steel, Molybdenum juga menaikkan kekerasan.

- Tembaga (Cu)

Tembaga menaikkan ketahanan korosi pada lingkungan asam dan membentuk struktur mikro austenit. Sulfur juga mengurangi work hardening untuk menaikkan machinability dan juga formability.

- Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur yang menjaga keuletan saat temperature tinggi pada *stainless steel*. Pada temperatur rendah akan menstabilkan austenite tetapi menjadi penstabil ferrit pada temperatur tinggi. Sebagai penstabil austenite,

Mangan juga digunakan untuk menggantikan nikel yang secara ekonomis lebih mahal.

- Silicon (Si)

Silikon adalah elemen paduan pada *stainless steel* yang berfungsi untuk memperbaiki ketahanan oksidasi pada temperature tinggi.

- Carbon (C)

Carbon merupakan salah satu pembentuk austenite kuat sehingga secara signifikan menaikkan kekuatan. Namun karbon juga mereduksi ketahanan untuk mengatasi intergranular korosi karena membentuk karbida. Pada ferritic stainless steel, karbon akan menurunkan ketangguhan dan ketahanan korosi dan pada martensitic stainless steel akan menaikkan kekerasan dan kekuatan, namun menurunkan ketangguhan.

- Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan pembentuk austenite kuat yang juga menaikkan kekuatan. Nitrogen adalah solusi elemen yang ditambahkan karena *stainless steel* tidak bisa ditambahkan banyak karbon akibat presipitasi karbida.

- Titanium (Ti)

Titanium adalah pembentuk ferrit dan pembentuk karbida yang kuat. Pada austenitic stainless steel, jika kadar karbon ditambah maka titanium perlu ditambahkan supaya menaikkan ketahanan korosi intergranular. Unsur ini juga menaikkan sifat mekanik pada temperatur tinggi. Pada ferritic stainless steel, titanium ditambahkan untuk menaikkan ketangguhan, formability dan ketahanan korosi. Pada martensitic stainless steel, titanium menurunkan kekerasan martensit. Pada precipitation-hardening stainless steel, titanium digunakan untuk membentuk senyawa intermetallic yang menaikkan kekuatan.

- Niobium (Nb)

Merupakan unsur penstabil ferrite. Penambahan Nb pada *stainless steel* akan menaikkan sifat mekanik pada temperature tinggi.

- Sulphur (S)

Sulfur merupakan paduan yang memperbaiki *machinability*. Dalam jumlah yang tinggi sulfur akan mengurangi ketahanan korosi

Paduan Fe-Cr-Mn pertama digunakan pada 1930-an ketika di Jerman sulit mendapatkan Nikel dan akhirnya dicari pengganti untuk penstabil austenit. Awal kemunculan paduan Fe-Cr-Mn adalah seri 205 dan pada pertengahan 1950-an seri 201 dan 202 mulai muncul. Ilmuwan logam Jerman menemukan Mangan dan Nitrogen sebagai pengganti Nikel. Dengan harga yang lebih murah dan kekuatan lebih tinggi daripada seri 300 membuat seri 200 dikomersialkan. Tipe ini digunakan pada ketahanan korosi dan ketangguhan menjadi kebutuhan utama. Biasanya diaplikasikan pada *shaft*, pompa, perpipaian di laut, dan peralatan kimia maupun peralatan masak. (Cardarelli, 2008)

Salah satu baja tahan karat Fe-Cr-Mn yang biasa digunakan adalah tipe 201. Tipe ini adalah austenitic stainless steel yang sering dibandingkan dengan dan 304. Baja ini memiliki beberapa kelebihan dan harganya lebih murah. Tipe 201 dan 201L adalah tipe yang paling sering digunakan pada stainless steel seri 200. Tabel menunjukkan komposisi kimia tipe 201. Tipe 201 memiliki kekuatan yang tinggi setelah dianil dan memiliki formability yang sangat baik. Contoh aplikasinya adalah bak mesin cuci. Baja ini dapat dinaikkan kekuatannya dengan cara pengerjaan rol menggunakan rol. (Iron & Steel Society, 1999). Tabel menunjukkan sifat mekanik AISI 201.

Tabel 2.3 Komposisi baja AISI 201 (ASTM International, 2004)

| Unsur | Presentase, max (%) |
|-------------|---------------------|
| Karbon (C)) | 0.15 |
| Mangan (Mn) | 5.5-7.5 |

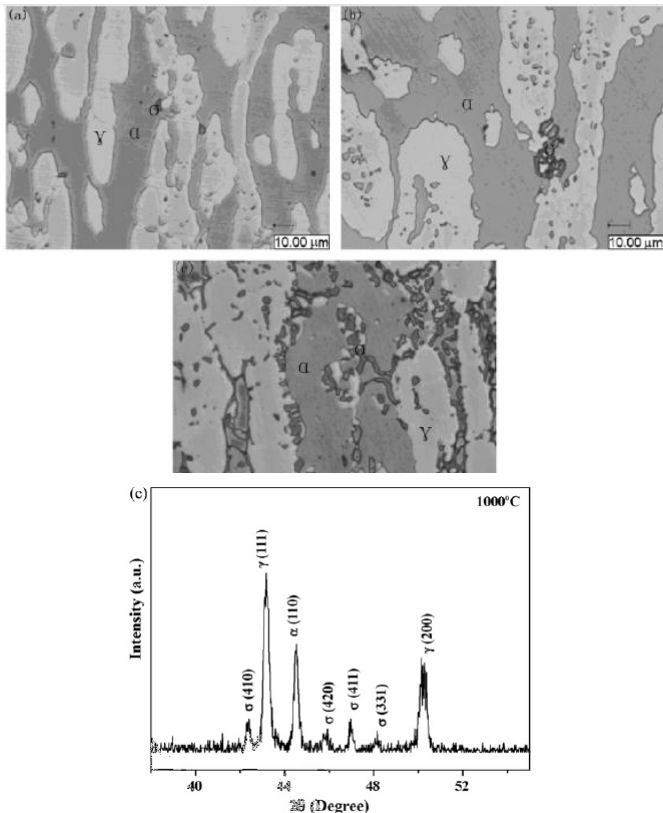
| | |
|--------------|-----------|
| Fosfor (P) | 0.060 |
| Sulfur (S) | 0.030 |
| Silikon (Si) | 1.00 |
| Kromium (Cr) | 16.0-18.0 |
| Nikel (Ni) | 3.5-5.5 |
| Nitrogen | 0.25 |

Tabel 2.4 Sifat mekanik AISI 201 (ASTM International, 2004)

| | |
|------------------|---------|
| Tensile strength | 655 MPa |
| Yield strength | 310 MPa |
| Elongation | 40% |
| Brinell hardness | 241 HB |

Baja tahan karat 201 memiliki struktur mikro austenit penuh pada temperatur kamar, fase austenit terbentuk pada temperatur kamar karena didalam baja tahan karat terdapat penstabil austenit yaitu Ni atau Mn. Selain sebagai penstabil austenit Mn juga dapat meningkatkan kelarutan dari nitrogen. Namun peningkatan kadar Mn juga dapat meningkatkan presipitat pada temperatur 950. Presipitat ini teridentifikasi oleh XRD sebagai fasa σ . (Li, Xu, Xiao, Zhao, Jiang, & Hu, 2009)

(C.V, K.J, & G.W, 1984) didalam (Li, Xu, Xiao, Zhao, Jiang, & Hu, 2009) mengatakan Mangan ternyata juga mempercepat presipitasi fasa σ dan memperlebar daerah fasa σ pada diagram fasa. Gambar 2.11 menunjukkan struktur mikro dan diagram fasa dari baja paduan Fe-Cr-Mn dengan variasi kadar Mn yang berbeda.



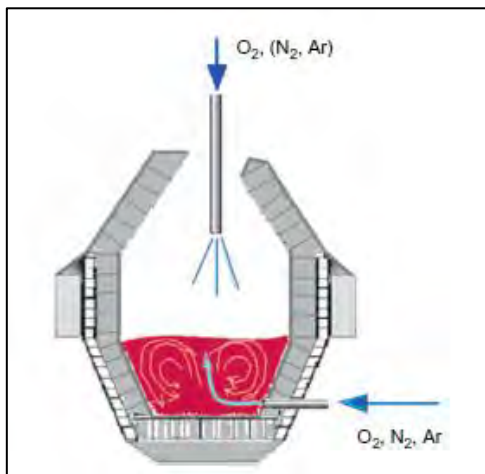
Gambar 2.11 Struktur mikro dan hasil analisa XRD pada temperatur 1000°C (a) 8.03wt%Mn; (b) 9.80wt%Mn; (c) 11.95wt%Mn (Li, Xu, Xiao, Zhao, Jiang, & Hu, 2009)

2.7 Proses Dekarburisasi pada Pembuatan Baja Tahan Karat

2.7.1 Proses AOD

Salah satu masalah pembuatan baja adalah hubungan antara oksidasi karbon dan oksidasi kromium. Ketika karbon dioksidasi dengan *oxygen blowing* pada converter, Cr juga

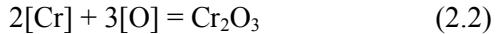
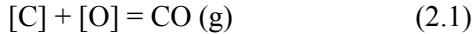
mengalami oksidasi. Hal ini berarti proses pembuatan baja tahan karat tidak dapat dilakukan di dalam konverter. Namun pada awalnya *electric furnace* digunakan untuk meleburkan baja stainless dan scrap baja karbon. Kemudian dikarburisasi dengan *blowing oxygen* sampai dibawah 0.08%C dan 10-14%Cr. Hasilnya, reaksi eksotermik karbon dan kromium meningkatkan temperatur sampai 1750-1800 °C. Temperatur setelah proses dekarburisasi sangat tinggi sehingga meningkatkan kecenderungan oksidasi karbon, sedangkan kecenderungan oksidasi krom turun. Krom teroksidasi dan menjadi Cr_2O_3 dan menjadi slag.



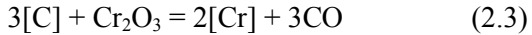
Gambar 2.12 Skema proses AOD (*argon oxygen decarburization*) (Seetharman, 2014)

Saat ini proses pembuatan baja menggunakan proses AOD. Proses ini pertama kali dikembangkan sekitar tahun 1950an. Proses pembuatan *stainless steel* dengan AOD dengan *top blowing* dapat dilihat dari Gambar 2.12 Converter AOD memiliki beberapa nozzle disisi dinding. Gas argon ditiupkan melalui celah ara dua pipa dan oksigen ditiupkan melalui pipa ini. Gas argon ini ditiupkan untuk mengencerkan konsentrasi gas oksigen. Untuk

meningkatkan proses dekarburisasi dan menghambat oksidasi kromium, tekanan parsial dari produk reaksi (CO) harus diturunkan. Hal ini dapat dilakukan dengan menurunkan konsentrasi oksigen pada proses blowing. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi pada proses AOD.



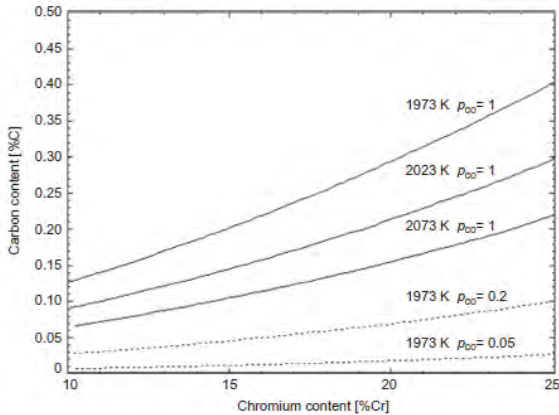
Dan dikombinasikan dengan



Dan konstanta kesetimbangannya

$$K = \frac{a_{[Cr]}^{2.p.CO^3}}{a_{[C]}^3 \cdot a_{Cr_2O_3}} \quad (2.4)$$

Sehingga apabila diinginkan kadar krom tetap namun kadar karbon berkurang, maka tekanan parsial dari CO harus dikurangi. Sedangkan cara untuk mengurangi tekanan parsial dari gas CO adalah dengan *diluting oxygen* atau dengan proses *vacuum*. Grafik berikut menunjukkan pengaruh temperatur dan tekanan parsial CO terhadap komposisi karbon dan krom. Dari grafik 2.13 dapat diketahui bahwa untuk mendapatkan *ultra-low-carbon* harus dengan tekanan parsial CO maksimal 0.2.



Gambar 2.13 Pengaruh temperatur dan tekanan CO terhadap komposisi karbon dan krom (Seetharman, 2014)

2.7.1 Proses *Vacuum*

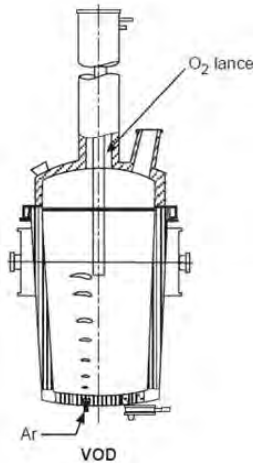
Proses pembuatan baja tahan karat menggunakan proses vacuum dikembangkan di Jerman. Pada awalnya proses *vacuum* dijadikan satu dengan proses RH-degassing, DH-degassing dan Allegheny *vacuum refining* (AVR). Proses ini melibatkan tekanan rendah pada daerah diatas baja cair untuk meningkatkan pembentukan gas CO. Baja cair dimasukkan kedalam vessel mengandung 0.5%C atau kurang. Proses vacuum biasanya dilakukan pada suatu wadah ladle yang terisi penuh oleh baja cair dan terpisah dari converter.

Pada pertengahan 1960an, proses dekarburisasi dengan vacuum ini dilakukan oleh Alleghny Ludlum Steel Corporation. Proses ini digunakan untuk membuat baja tahan karat dan konsumsi *low carbon ferrochrome* menjadi rendah. Kemudian proses ini menjadi tidak kompetitif lagi ketika mulai dikenal proses OD. Pada akhir 1970an Allegheny Ludlum membangun sebuah pabrik dengan reactor AOD dan menghentikan penggunaan AVR.

Pada awalnya proses duplex dengan menggunakan vacuum pada langkah keduanya dirasa terlalu lambat dan

penggunaanya sangat terbatas, artinya sulit menyesuaikan dengan material yang digunakan. Padahal sebuah pabrik selalu menginginkan bahwa alatnya dapat digunakan untuk jenis material apapun. Selain itu tidak dapat mengimbangi peningkatan produktifitas dari EAF dan biaya produksi juga terlalu mahal. Kemudian Nippon Steel Corporation memperkenalkan proses RH-OB untuk membuat baja tahan karat. Baja cair dimasukkan kedalam BOF dimana sudah dicampur dengan kromium dan disembur oksigen sampai kadar karbon 0.5-0.6 %. Kemudian karburisasi akhir dilakukan di RH-OB.

Kelebihan dari proses vacuum antara lain konsumsi gas argon rendah dan tingkat oksidasi dari krom juga rendah ketika proses karburisasi. Sedangkan kekurangan dari proses ini adalah proses ini kurang bisa fleksibel terhadap keadaan *raw material*. Waktu yang dibutuhkan untuk proses karburisasi menggunakan vacuum lama, yaitu sekitar 50-70 menit bila dimulai dari 0.3%C, sedangkan converter hanya butuh 40-60 menit untuk karburisasi dari kadar 1.5-2.5%C. tentu hal ini berakibat buruk pada proses selanjutnya yaitu *continuous casting*. Gambar 2.14 merupakan skema dari VOD.



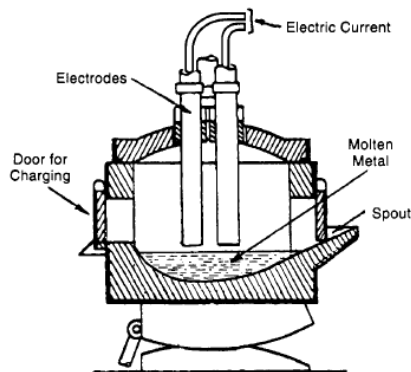
Gambar 2.14 Skema dari proses VOD pada proses pembuatan baja tahan karat (Barker, 1998)

2.8 Proses Peleburan Logam

Proses pengecoran merupakan proses pembentukan logam dimana logam harus dilebur lalu dituang kedalam suatu cetakan hingga terjadi solidifikasi. Proses peleburan logam dilakukan didalam suatu dapur pemanas. Ada banyak dapur pemanas, antara lain *electric arc melting*, *induction melting*, *gas burner (crucible melting)*, *cupola melting*, dan ada beberapa jenis lain yang jarang digunakan. Klasifikasi dari dapur peleburan adalah berdasarkan bahan bakar atau pemanas. *Electric arc furnace* adalah suatu dapur peleburan yang menggunakan energy listrik sebagai pemanas. Prinsip kerja dari *Electric arc melting* sama seperti mesin las, yaitu memanfaatkan busur listrik yang timbul akibat adanya *gap* antara elektroda dengan logam. Namun *Electric arc melting* memiliki energy yang lebih tinggi dan busur listrik yang timbul lebih kontinyu. Ada dua metode dari jenis pemanas ini, yang pertama adalah *direct-arc*. Pada metode ini ada dua busur listrik yang timbul yaitu dari electrode ke logam dan

yang kedua dari logam ke electrode kedua. Sedangkan metode yang kedua adalah *indirect-arc* dimana busur timbul diantara dua electrode dan panas akan merambat ke logam dengan cara radiasi. (Bralla, 2006)

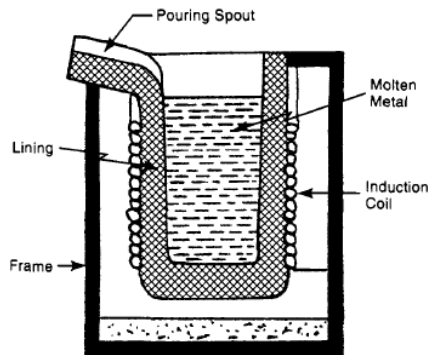
Electrode biasanya terbuat dari karbon, namun bila yang dilelehkan adalah logam yang memiliki titik leleh yang tinggi dapat memakai logam yang sama sebagai electrode. Electrode biasanya bersifat *consumable*. Gambar 2.15 menunjukkan skema dari *Electric arc melting* dengan metode *direct-arc*.



Gambar 2.15 Skema dari proses peleburan pada *Electric arc melting* (Bralla, 2006)

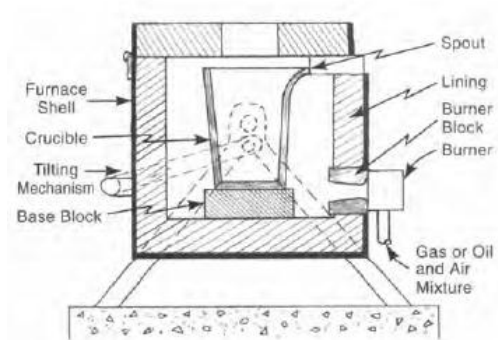
Jenis yang kedua adalah *induction furnace*, dapur peleburan jenis ini juga menggunakan listrik sebagai energy pemanasnya. Namun *induction melting* tidak menggunakan busur melainkan induksi elektromagnetik. Disekitar krusibel ditempatkan lilitan kawat melingkar, lalu arus AC dialirkan melalui kawat ini sehingga dapat menimbulkan medan magnet. Adanya hambatan pada logam ini dapat menimbulkan panas hingga temperatur leleh logam tersebut. Proses peleburan dengan metode ini berjalan sangat cepat dan bersih dari kontaminasi dari pemanasnya. Untuk menjalankan dapur jenis ini membutuhkan frekuensi yang tinggi, biasanya mencapai 10.000 Hz. Gambar

2.16 adalah skema dari dapur peleburan logam *induction melting*. Dapur ini biasanya digunakan untuk beberapa logam antara lain baja, kuningan, perunggu, aluminium dan magnesium. (James G Bralla, 2006).



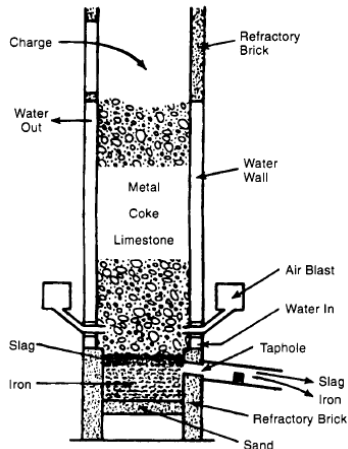
Gambar 2.16 Skema dari dapur peleburan jenis *induction melting* (Bralla, 2006)

Sedangkan dapur yang ketiga adalah dapur krusible. Dapur ini berbentuk tabung dengan dinding refraktori dan krusibel diletakkan ditengah-tengah. Krusibel adalah sebuah wadah yang terbuat dari material refraktori yang digunakan untuk wadah logam cair. Sedangkan disekeliling krusibel diberikan bahan bakar berupa minyak bumi atau gas yang dibakar. Gambar 2.17 memperlihatkan skema dari dapur krusibel.



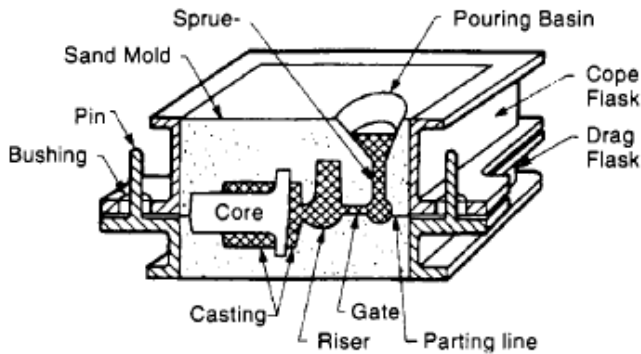
Gambar 2.17 Skema dari dapur krusibel (Bralla, 2006)

Dan jenis yng terakhir adalah jenis kupola. Jenis tungku ini mirip dengan tanur tinggi dimana logam yang dilebur bertemu langsung dengan bahan bakar yang biasanya berupa kokas atau batu bara. Kupola diisi dengan logam dari atas, begitu juga bahan bakarnya yaitu kokas, biasanya ditambahkan kapur CaCO_3 . Semua dimasukkan dari atas dan disusun berlapis. Lalu dibagian bawah terdapat lubang sebagai saluran oksigen. Dan dibagian bawah yang lain juga terdapat lubang yang berfungsi sebagai saluran keluar dari besi cair dan slag. Gambar 2.18 adalah bentuk dari dapur kupola yang biasa digunakan untuk melebur baja.



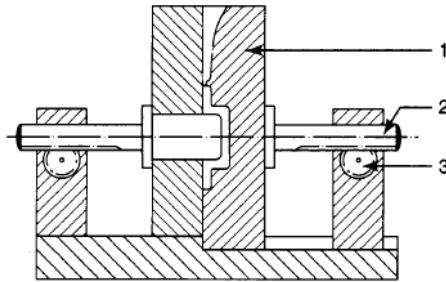
Gambar 2.18 Bentuk dari dapur kupola tampak dari sisi samping (Bralla, 2006)

Setelah proses peleburan, bahan cor harus dicetak menggunakan beberapa metode *casting*. Ada beberapa metode pengecoran dalam ilmu metalurgi, diantaranya adalah *Sand-casting*, *permanent-mold casting*, *centrifugal casting*, *die casting*, *investment casting*, dan *continuous casting*. Dari beberapa metode yang ada *sand casting* adalah cara pengecoran paling sederhana diantara lainnya. Pada metode ini pasir dibentuk seperti benda yang akan dibuat, lalu logam cair dituangkan melalui saluran yang telah dibuat lalu logam cair akan mengisi seluruh rongga yang ada pada cetakan pasir. Kemudian logam dibiarkan dingin dengan sendirinya dan menjadi logam yang solid. Gambar 2.19 merupakan contoh bentuk dari cetakan pasir.



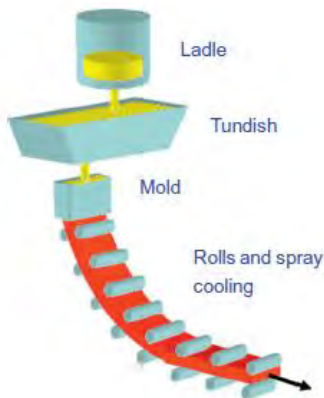
Gambar 2.19 Contoh cetakan pasir yang digunakan pada proses pengecoran (Bralla, 2006)

Jenis kedua yang sering digunakan adalah *permanent-mold casting*. Berbeda dengan *sand casting* atau *investment* yang cetakan harus dihancurkan. Maka metode ini menggunakan cetakan yang dapat digunakan untuk berkali-kali proses. Prosesnya sama dengan *sand casting*, logam cair dituang melalui saluran lalu cetakan dilepas dari benda kerja. Cetakan dapat dipakai kembali untuk bentuk yang sama dan begitu seterusnya. Cetakan harus *dipreheat* sebelum proses penuangan untuk mencegah *thermal shock* dan didinginkan dengan air bila logam cair telah selesai dituang kedalam cetakan. Metode pengecoran ini sangat sesuai untuk pengecoran dalam jumlah banyak dan produksi dilakukan secara kontinyu. Gambar 2.20 adalah bentuk dari *permanent mold*



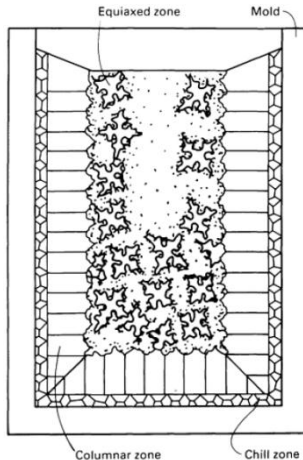
Gambar 2.20 Tipe cetakan permanen yang digunakan dalam proses pengecoran (Bralla, 2006)

Metode pengecoran yang digunakan oleh pabrik dengan produk setengah jadi adalah metode *continuous casting*. Metode *continuous casting* adalah proses pengecoran dimana benda kerja dituang secara terus menerus dan membeku secara bertahap. Proses pengecoran ini digunakan untuk bentuk-bentuk setengah jadi, antara lain slab, billet dan beberapa profil sederhana yang lain. Proses *continuous casting* dimulai dengan penuangan kedalam tundish atau penampung sementara kemudian logam cair turun ke dalam *mold* dan didini adalah awal proses pembekuan. Proses ini adalah proses paling penting karena benda kerja akan terus bergerak sehingga apabila proses solidifikasi kurang baik, lapisan terluar bisa pecah dan proses casting gagal. Kemudian setelah proses solidifikasi permukaan, benda kerja akan terus bergerak dan terjadi solidifikasi sampai benar-benar penuh menjadi solid. Gambar 2.21 adalah proses *continuous casting* pada pabrik baja yang memproduksi slab. Setiap metode pengecoran memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, dan memiliki kegunaan yang berbeda-beda. Pengecoran dengan metode cetakan, baik permanen maupun pasir sangat sesuai dengan bentuk-bentuk yang rumit. Sedangkan proses *continuous casting* sesuai untuk bentuk yang sederhana namun menuntut *lead time* yang cepat.



Gambar 2.21 Skema proses *continuous casting* (Seetharman, 2014)

Setelah penuangan dalam cetakan, logam cair akan bertransformasi menjadi padatan. Proses solidifikasi dimulai dari logam cair yang paling dekat dengan dinding cetakan. Logam cair akan memadat dengan orientasi butiran yang kecil dan acak. Kemudian seiring waktu pendinginan, transfer energi terjadi dari logam cair yang lebih dalam dan terus menuju inti. Proses solidifikasi, memungkinkan pertumbuhan dendrit menuju pusat. Dendrit tersebut akan bercabang dan membentuk butiran yang *columnar*. Gambar 2.22 menunjukkan proses solidifikasi dalam cetakan



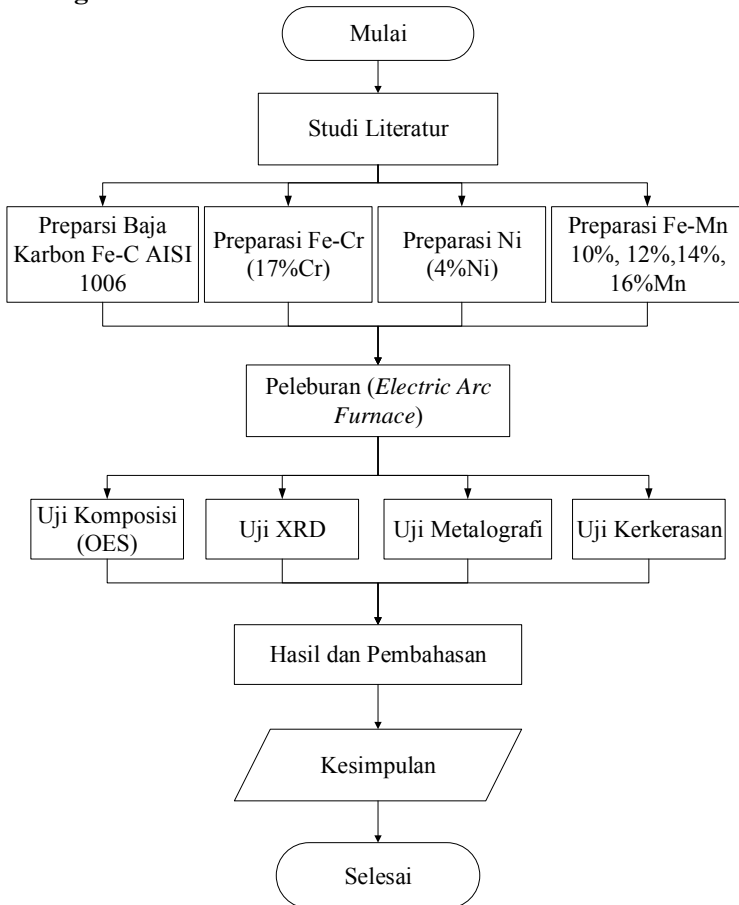
Gambar 2.22 Proses solidifikasi pada didalam cetakan (ASM *metalhandbook* vol.15 1990)

Nilai konstanta cetakan tergantung pada sifat fisik cetakan (kapasitas kalor, konduktivitas termal), logam coran (kalor lebur, kapasitas kalor, konduktivitas termal), dan temperatur penuangan. Jadi, nilai C_m merupakan hasil eksperimen. Dari aturan Chvurinov diketahui bahwa semakin besar perbandingan volume dan luas permukaan bentuk coran maka akan membutuhkan waktu solidifikasi yang lebih lama. Aturan Chvurinov ini sangat penting untuk desain riser pada cetakan. Riser dengan perbandingan volume dan luas permukaan yang besar dapat menghambat terbentuknya porositas akibat penyusutan selama solidifikasi (Groover. 2010).

BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan, Gambar 3.1 adalah diagram alir dari keseluruhan penelitian ini. Penelitian ini dimulai dengan studi literatur tentang baja tahan karat austenitik seri 200 dan pengaruh unsur paduan terhadap sifat mekanik serta proses pembuatan baja tahan karat. Kemudian, proses penelitian dimulai dengan preparasi bahan baku berupa baja karbon Fe-C (AISI 1010), kromium, nikel dan variasi kadar Mn 10, 12, 14, 16%. Semua bahan dilebur di dalam *electric arc furnace*. Kemudian hasil pengecoran diuji komposisi dengan OES, uji fasa dengan XRD, diuji metalografi dan diuji kekerasan,. Setelah pengujian dilanjutkan analisis data dan pembahasan, lalu diambil suatu kesimpulan dari keseluruhan hasil penelitian.

3.2 Bahan

Baja karbon Fe-C AISI 1010 (0.1%C;0.21%Mn; 0.03%Cr;0.03%Ni) berbentuk plat tipis ($t=2.9\text{mm}$). *Ferromangan medium carbon* (76.25%Mn;1.92%C) komposisi kimia dan ukuran yang digunakan sesuai dengan standar ASTM A99-33 tentang *standar specification of ferromanganese*. *Ferrochrome low carbon* (69%Cr;0.07%C) komposisi kimia dan ukuran sesuai dengan ASTM 101 tentang *standar specification of ferrochromium*. Nikel (99%Ni) berbentuk lembaran sesuai dengan ASTM B162 tentang *standard specification for Nickel plate, sheet and strip*. Keempat bahan tersebut dibeli dari PT. Makmur Meta Graha Dinamika, Surabaya. Bahan untuk etsa adalah 10 mL HNO_3 , 20-50 mL HCL dan 30 mL gliserol. Larutan etsa sesuai dengan standar ASTM E407 tentang *standard practice for microetching metals and alloy* dengan etsa nomor 87. Larutan etsa dibeli dari UD. Sumber Ilmiah Persada, Surabaya.

3.3 Alat

Alat yang digunakan antara lain Mesin *Arc Furnace* merk Welco tipe OC160 dengan daya 4000W. Krusibel terbuat dari *insulating brick* tipe C-1 dibeli dari U.D Kampung Dukuh, Surabaya. Multimeter merk MYFAIR DT-830B. Termometer inframerah dengan *measurement range* 100-1800⁰C. Peralatan

ϕ^1  ϕ^1 ϕ^1 ϕ^1

sampai 30 gram. Semua bahan diletakkan kedalam krusibel yang terbuat dari *insulating brick* yang telah dibentuk menyerupai krusibel, kemudian kedua elektroda dimasukkan melalui dua lubang yang ada di samping krusibel. Kedua ujung elektroda diposisikan sangat dekat, namun tidak boleh menempel. Kemudian panel dinyalakan sehingga timbul busur listrik. Proses peleburan berlangsung dalam keadaan krusibel ditutup bagian atas. Proses peleburan dilakukan selama 2 menit. Baja paduan yang telah selesai dilebur didinginkan didalam Krusibel. Setelah membeku seluruhnya hasil pengecoran diambil dengan menghancurkan krusibel. Tabel 3.1 menunjukkan komposisi berat yang akan dilebur. Terdiri dari 4 spesimen dengan kadar Mn yang berbeda.

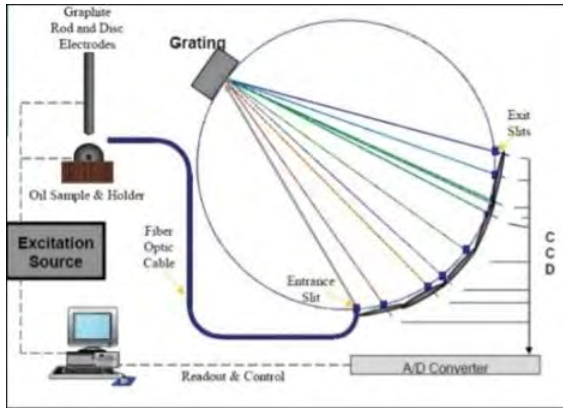
Tabel 3.1 Komposisi *raw material input*

| No. | Paduan | Ni (gr) | Cr (gr) | Mn (gr) | Fe (gr) |
|-----|------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | Fe17Cr10Mn | 1.212 | 7.391 | 3.934 | Bal. |
| 2 | Fe17Cr12Mn | 1.212 | 7.391 | 4.721 | Bal. |
| 3 | Fe17Cr14Mn | 1.212 | 7.391 | 5.508 | Bal. |
| 4 | Fe17Cr10Mn | 1.212 | 7.391 | 6.295 | Bal. |

3.5 Proses Pengujian

3.5.1 Pengujian OES

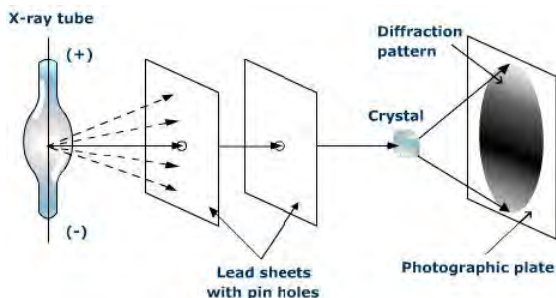
Pengujian OES, *Optical Emission Spectroscopy*, adalah pengujian dengan menembakkan electron pada bidang datar specimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang unik yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan database yang ada. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di PT. Barata Indonesia *Foundry Unit* Gresik dengan standar database stainless steel. Gambar 3.1 menunjukkan skema mekanisme pengujian OES.



Gambar 3.3 Skema proses OES untuk mengetahui komposisi kimia (Nosheen, Alam, Irfan, & Ahmad, 2013)

3.5.2 Pengujian XRD

XRD atau *X-Ray Diffraction* adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa menggunakan difraksi sinar X. Prinsip kerja alat ini adalah ada suatu sumber elektron yang ditembakkan pada *sample target* (Cu) kemudian electron yang berada pada orbital paling bawah (k) akan berpindah ke kulit berikutnya (l). Hasil dari interaksi antara *sample target* dan proton ini disebut sinar-X. Gambar 3.4 menunjukkan mekanisme dari pengujian XRD.

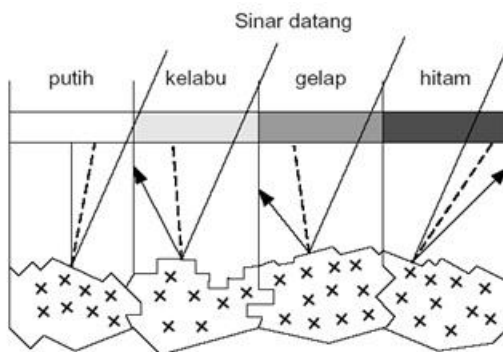


Gambar 3.4 Mekanisme pengujian XRD (tutorvista, 2016)

Untuk pengujian XRD sampel berupa plat dengan dimensi 3x3x0.5 cm. Dan menggunakan *sample target* Cu, dioperasikan pada 40Kv, 30 mA, dan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha \sim 1.5418\text{\AA}$.

3.5.3 Pengujian Metalografi

Tujuan utama dari pengujian metalografi adalah untuk mengetahui komponen dan struktur logam dan paduannya menggunakan mikroskop cahaya (ASTM E3). Prinsip dari pengujian metalografi menggunakan mikroskop cahaya adalah adanya beda sudut pantul di tiap titik permukaan karena adanya perbedaan struktur. Perbedaan sudut pantul akan diterima oleh mata sebagai perbedaan gelap-terang pada permukaan spesimen. Gambar 3.2 menunjukkan Sinar datang jatuh dan memantul pada permukaan, perbedaan struktur menimbulkan perbedaan sudut pantul sehingga tampak ada bagian yang gelap dan ada bagian yang terang.



Gambar 3.5 Mekanisme mikroskop optic sehingga terlihat oleh mata perbedaan gelap-terang. (Callister, 2009)

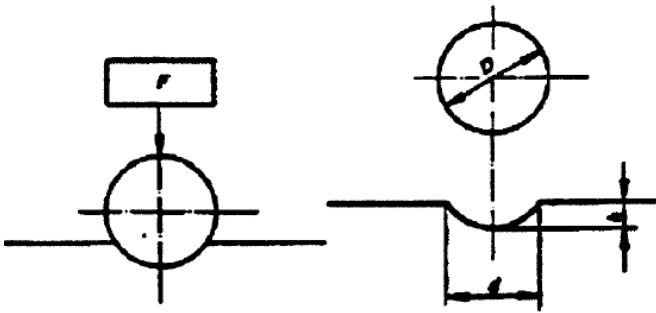
Ukuran dari spesimen yang digunakan tidak boleh lebih dari 25 mm², dan kurang lebih bila berbentuk lingkaran diameter tidak boleh lebih dari 25 mm. sedangkan tinggi dari spesimen disesuaikan dengan tinggi yang dibutuhkan saat proses polishing

(ASTM E3). Prosedur pengujian meliputi preparasi spesimen antara lain proses *cutting*, *grinding*, *polishing* dan *etching*.

3.5.4 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian kekerasan yang dilakukan adalah uji kekerasan Brinell. Uji kekerasan brinell digunakan untuk menguji kekerasan logam dengan prinsip indentasi brinell. Informasi kekerasan Brinell juga dapat dihubungkan dengan kekuatan tarik, sifat ketahanan aus, keuletan dan sifat fisik lainnya. Uji kekerasan Brinell menggunakan mesin untuk menekan suatu indenter (*tungsten carbide ball with diameter D*).

Mekanisme pengujian indentasi kekerasan Brinell terdiri dari dua langkah. Yang pertama indenter bergerak ke permukaan spesimen dengan arah tegak lurus terhadap permukaan spesimen, dan diberikan gaya sebesar F . Gaya tekan ini ditahan untuk beberapa saat kemudian dilepas. Kemudian langkah yang kedua adalah langkah pengukuran diameter jejak indentasi. Diameter diukur pada dua sumbu yang saling tegak lurus satu sama lain. Kemudian nilai kekerasan dari brinell dari diameter yang terukur dan dilihat pada tabel ASTM E10. Gambar 3.1 menunjukkan mekanisme indentasi pada pengujian Brinell. Diameter indenter yang digunakan 2.5mm, beban yang digunakan untuk indentasi 187.5 kgf, tebal minimal spesimen adalah 2.5 mm. Semua prosedur dilakukan berdasarkan standar ASTM E10.



Gambar 3.6 Mekanisme uji kekerasan brinel (ASTM E10)

3.6 Rancangan Penelitian

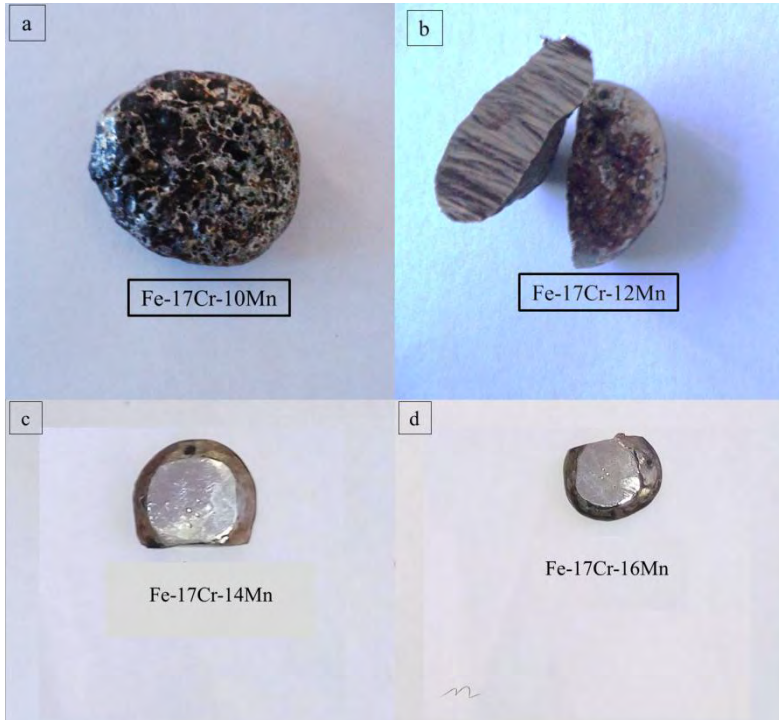
Rancangan penelitian pada tabel 3.2 dibuat agar penelitian dapat berjalan secara sistematis.

Table 3.2 Rancangan penelitian

| Material (%) | | | | | Pengujian | | | |
|----------------|----|----|----|-----------|-----------|-----|-------------|-----------|
| Paduan | Ni | Cr | Mn | AISI 1010 | OES | XRD | Metalografi | Kekerasan |
| Fe17C r10Mn | 4 | 17 | 13 | 66 | V | V | V | V |
| Fe17C r12Mn | 4 | 17 | 18 | 61 | | | | |
| Fe17C r10Mn | 4 | 17 | 23 | 56 | | | | |
| Fe17C r10Mn | 4 | 17 | 28 | 51 | | | | |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Baja Paduan Fe-17Cr-xMn



Gambar 4.1 Coran paduan (a) Fe-17Cr-10Mn (b) Fe-17Cr-12Mn (c) Fe-17Cr-14Mn (d) Fe-17Cr-16Mn

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa keempat paduan Fe-17Cr-xMn telah lebur sempurna karena bentuk hasil cor berbentuk seperti krusibel yaitu berbentuk cembung. Dibagian permukaan hasil coran terdapat lapisan slag dan lelehan dari

krusibel. Hasil coran dipotong melintang untuk mengetahui hasil pemaduan pada bagian dalam. Pengamatan dari penampang yang dipotong tersebut menunjukkan kesamaan warna. Sehingga dapat diketahui bahwa proses pemaduan telah berhasil sehingga *raw material* telah menjadi satu paduan Fe-17Cr-xMn. hasil pengamatan fisik pada permukaan yang dipotong tidak menunjukkan adanya porositas dan inklusi.

4.2 Komposisi Kimia Baja Paduan Fe-17Cr-xMn

Tabel 4.1 Komposisi *raw material input*

| Paduan | C | Mn | Cr | Ni |
|--------------|------|-------------------|--------------------|----------------------|
| Fe-17Cr-10Mn | 0.28 | 10%(3.93gr Fe-Mn) | 17% (7.39gr Fe-Cr) | 4%(1.21 gr Ni sheet) |
| Fe-17Cr-12Mn | 0.33 | 12%(4.72gr Fe-Mn) | 17% (7.39gr Fe-Cr) | 4%(1.21 gr Ni sheet) |
| Fe-17Cr-14Mn | 0.38 | 14%(5.5gr Fe-Mn) | 17% (7.39gr Fe-Cr) | 4%(1.21 gr Ni sheet) |
| Fe-17Cr-16Mn | 0.43 | 16%(6.29gr Fe-Mn) | 17% (7.39gr Fe-Cr) | 4%(1.21 gr Ni sheet) |

Tabel 4.1 merupakan komposisi input material paduan Fe-17Cr-xMn. Komposisi pada Tabel 4.1 dihitung agar semua paduan memiliki fasa austenit. Proses penghitungan menggunakan nilai nikel ekivalen (Ni_{eq}) dan nilai krom ekivalen (Cr_{eq}) kemudian diplot pada diagram Schaeffler pada Gambar 2.10. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai nikel ekivalen (Ni_{eq}) dan nilai krom ekivalen (Cr_{eq}).

$$Ni_{eq} = \%Ni + 0.5\%Mn + 30(\%C + \%N)$$

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb$$

Hasil dari pengujian *optical emission spectroscopy* (OES) ditunjukkan pada Tabel 4.2. Paduan Fe-17Cr-10Mn memiliki komposisi kimia 0.29%C, 4.1%Mn, 18.2%Cr dan 3.71%Ni. Terjadi kenaikan kadar karbon sebesar 0.01% pada paduan. Kadar krom terjadi kenaikan sebesar 1.2% sedangkan Kadar nikel turun sebesar 0.29%. Sedangkan Kadar Mangan (Mn) juga berkurang sebesar 5.9%. Perubahan Kadar Nikel dan mangan mengakibatkan turunnya kekuatan penstabil austenit, karena nikel dan mangan adalah unsur penstabil austenit. Sedangkan unsur penstabil ferit justru mengalami kenaikan, yaitu krom.

Paduan Fe-17Cr-12Mn memiliki komposisi kimia 0.34%C, 4.2%Mn, 18.2%Cr dan 3.351%Ni. Paduan Fe-17Cr-12Mn juga mengalami perubahan komposisi kimia. Kadar karbon mengalami kenaikan sebesar 0.01%. Sedangkan kedua unsur penstabil austenit yaitu Ni dan Mn turun masing-masing 0.65% dan 7.8%. Namun unsur penstabil ferit yaitu Cr justru mengalami kenaikan sebesar 1.2%.

Paduan Fe-17Cr-14Mn memiliki komposisi 0.402%C, 10.7%Mn, 17.9%Cr dan 4.65%Ni. Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa ada perbedaan komposisi antara *material input* dan hasil peleburan. Kadar karbon (C) naik sebesar 0.022%. Kadar krom dan nikel naik sebesar 1.9% dan 0.65%. Sedangkan Kadar mangan (Mn) turun sebesar 3.3%.

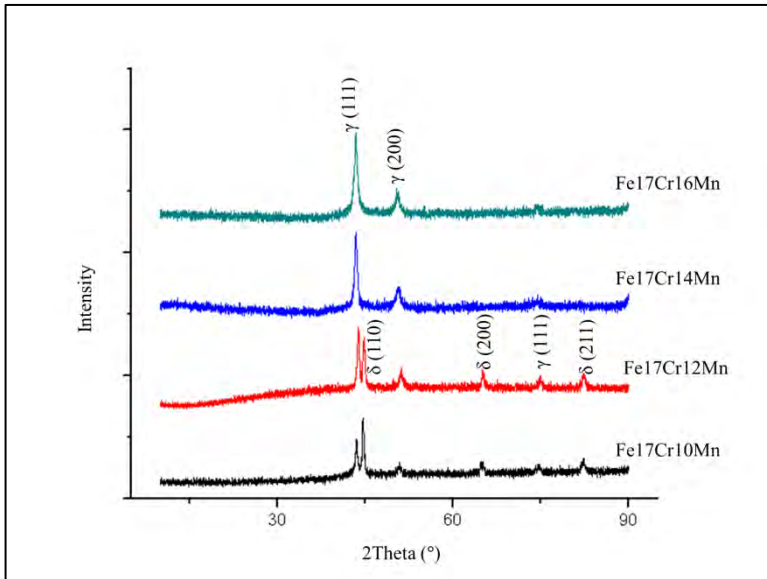
Paduan Fe-17Cr-16Mn memiliki komposisi 0.602%C, 10.2%Mn, 18.3%Cr dan 4.75%Ni. Kadar karbon naik sebesar 0.172%. Kadar krom dan nikel naik sebesar 0.3% dan 0.75% Ni. Paduan Fe-17Cr-16Mn mengalami penurunan Kadar Mn sebesar 5.2%Mn. Penurunan kadar Mn ini membuat paduan Fe-17Cr-16Mn memiliki kadar Mn lebih kecil daripada paduan Fe-17Cr-14Mn.

Berdasarkan hasil uji komposisi dapat diketahui bahwa ada trend komposisi pada keempat paduan. Kadar Krom dan nikel berubah fluktuatif, namun pada keempat spesimen memiliki Kadar yang hampir sama. Sedangkan Kadar karbon selalu naik, kenaikan kadar karbon disebabkan oleh peningkatan masa *ferromangan* yang dilebur. Namun kadar karbon pada paduan lebih dari penghitungan *mass balance*, hal ini disebabkan oleh adanya elektrode karbon yang masuk ke dalam logam cair ketika proses peleburan. Sedangkan Kadar mangan selalu turun, hal ini disebabkan oleh adanya reaksi oksidasi Mn menjadi oksida mangan (MnO) pada saat proses peleburan (Seetharaman, 2014).

Tabel 4.2 Komposisi Kimia Hasil Pengujian OES

| Paduan | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cr _{eq} | Ni _{eq} |
|--------------|-------|-------|------|--------|--------|------|------|------------------|------------------|
| Fe-17Cr-10Mn | 0.29 | 1.4 | 4.1 | 0.0655 | 0.012 | 18.2 | 3.71 | 21.42 | 16.922 |
| Fe-17Cr-12Mn | 0.34 | 1.56 | 4.2 | 0.0601 | 0.013 | 18.2 | 3.35 | 22.00 | 18.49 |
| Fe-17Cr-14Mn | 0.402 | 0.592 | 10.7 | 0.0667 | 0.0103 | 17.9 | 4.65 | 19.43 | 25.57 |
| Fe-17Cr-16Mn | 0.620 | 1.20 | 10.2 | 0.0730 | 0.0127 | 18.3 | 4.75 | 21.02 | 34.07 |

4.3 Analisis Fasa Baja Paduan Fe-17Cr-xMn



Gambar 4.2 Pola XRD untuk paduan Fe-17Cr-10Mn, Fe-17Cr-12Mn Fe-17Cr-14Mn Fe-17Cr-16Mn

Hasil pengujian XRD pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa untuk paduan Fe-17Cr-10Mn terdapat dua fasa yaitu fasa ferit dan austenit. Berdasarkan prediksi menggunakan diagram schaeffler, seharusnya dengan komposisi tersebut fasa hasil coran berupa austenit seluruhnya. Namun setelah proses peleburan terjadi perubahan komposisi kimia, maka kekuatan penstabil austenit menjadi lebih lemah dari prediksi awal. Puncak pertama ($2\theta=44.59^\circ$) teridentifikasi sebagai ferit dengan intensitas 420.57 , puncak kedua ($2\theta=45.53^\circ$) teridentifikasi sebagai fasa austenit dengan intensitas 241.78, puncak ketiga ($2\theta=82.29^\circ$)

teridentifikasi sebagai ferit dengan intensitas 71.51, puncak keempat ($2\theta=64.94^0$) teridentifikasi sebagai fasa ferit dengan intensitas 66.19, puncak kelima ($2\theta=50.93^0$) dan keenam ($2\theta=74.74^0$) teridentifikasi sebagai fasa austenit dengan intensitas masing-masing 47.31 dan 39.86. Fasa ferit pada puncak pertama, ketiga dan keempat sesuai dengan PDF *card* nomor 87-00721 dengan kualitas C. Dari PDF *card* dapat diketahui beberapa data antara lain berat molekul 55.85 dan volum 23.55 dengan *lattice parameter* 2.866 dan memiliki struktur Kristal BCC. Sedangkan puncak kedua, kelima dan keenam sesuai dengan PDF *card* nomor 47.1417. Dari PDF *card* diketahui berat molekul 55.85, volume 46.56 dan *lattice parameter* 3.597 dan memiliki struktur Kristal FCC.

Paduan Fe-17Cr-12Mn juga mengalami hal yang sama. Dengan berubahnya komposisi kimia maka komposisi fasa juga berubah. Fasa yang diinginkan adalah austenit seluruhnya namun setelah proses peleburan hasil XRD pada Gambar 4.2 menunjukkan fasa yang terbentuk adalah austenit dan ferit. Hal ini disebabkan oleh berubahnya nilai Ni equivalen dan Cr equivalen. Puncak pertama ($2\theta=43.806^0$) teridentifikasi sebagai fasa austenit dengan intensitas 451.3, puncak kedua ($2\theta=44.73^0$) teridentifikasi sebagai fasa ferit dengan intensitas 354.0, puncak ketiga ($2\theta=65.10^0$) teridentifikasi sebagai fasa ferit dengan intensitas 111.27, sedangkan puncak keempat ($2\theta=51.26^0$) dan kelima ($2\theta=74.88^0$) teridentifikasi sebagai fasa austenit dengan intensitas masing-masing 90.42 dan 60.06. Puncak pertama, kelima dan keenam sesuai dengan PDF *card* nomor 47.1417. Dari PDF *card* diketahui berat molekul 55.85, volume 46.56 dan *lattice parameter* 3.597 dan memiliki struktur Kristal FCC. Sedangkan puncak yang lain sesuai dengan PDF *card* nomor 87-0722. Dari PDF *card* diketahui berat molekul 55.85, volume

23.41 dan *lattice parameter* 2.86 dan memiliki struktur Kristal BCC.

Berbeda dengan dua paduan yang lain, meskipun paduan Fe-17Cr-14Mn mengalami perubahan komposisi kimia dan nilai $Nieq/Creq$, namun pergeseran pada diagram schaeffler belum keluar dari daerah austenit. Gambar 4.2 menunjukkan puncak pertama ($2\theta=43.44^{\circ}$), puncak kedua ($2\theta=50.86^{\circ}$), puncak ketiga ($2\theta=74.37^{\circ}$) dan keempat ($2\theta=64.08^{\circ}$) teridentifikasi sebagai fasa austenit dengan intensitas berturut-turut 568.85, 114.18, 35.30, 9.15. Puncak pertama sampai keempat sesuai dengan PDF *card* nomer 47.1417. Dari PDF *card* diketahui berat molekul 55.85, volume 46.56 dan *lattice parameter* 3.597 dan memiliki struktur Kristal FCC. Selain fasa austenit, XRD mengidentifikasi adanya fasa karbida $Cr_{23}C_6$ dengan intensitas yang sangat kecil yaitu 9.15. Karbida $Cr_{23}C_6$ memiliki struktur Kristal FCC dan mulai terbentuk pada temperatur antara 600-950°C.

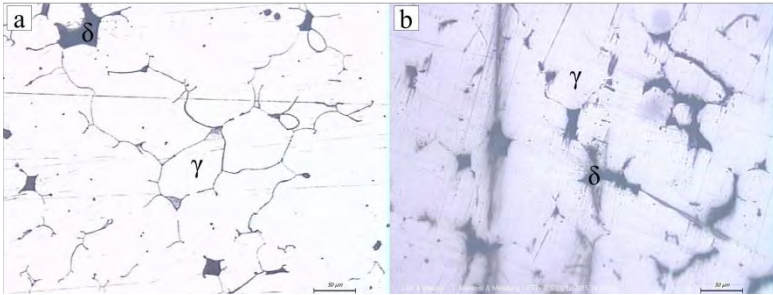
Paduan Fe-17Cr-16Mn juga mengalami penurunan Kadar Mn, namun fasa yang terbentuk masih sesuai dengan yang telah diprediksi pada tabel 4.2. Bahkan paduan ini kehilangan lebih banyak Mn daripada paduan Fe-17Cr-14Mn. Dengan kadar Mn 10.2%, fasa austenit seluruhnya masih dapat dicapai. Paduan Fe-17Cr-16Mn hanya memiliki dua puncak XRD. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa puncak pertama ($2\theta=43.43^{\circ}$) dan kedua ($2\theta=50.72^{\circ}$) teridentifikasi sebagai fasa austenit dimana masing-masing memiliki intensitas 571.76 dan 112.84. . Puncak pertama dan kedua sesuai dengan PDF *card* nomer 47.1417. Dari PDF *card* diketahui berat molekul 55.85, volume 46.56 dan *lattice parameter* 3.597 dan memiliki struktur Kristal FCC. Selain fasa austenit, XRD mengidentifikasi adanya fasa karbida $Cr_2Fe_{14}C$ pada paduan Fe-17Cr-16Mn.

Identifikasi fasa XRD menunjukkan bahwa pada Kadar tertentu fraksi ferit akan terus berkurang hingga akhirnya hanya didapat fasa tunggal austenit. Untuk memperoleh fasa tunggal austenit dapat diperoleh dengan Kadar 10.2%Mn. Apabila diperhatikan lebih lanjut, ada perbedaan antara kristal BCC pada paduan Fe-17Cr-10Mn dan Kristal BCC pada paduan Fe-17Cr-12Mn. Kristal BCC pada paduan Fe-17Cr-12Mn memiliki volume lebih besar daripada volume Kristal BCC pada paduan Fe-17Cr-10Mn. Perbedaan volume dapat mengindikasikan ada lebih banyak Mn yang terlarut dalam fasa ferit. Dengan meningkatnya kadar karbon didalam paduan, kecenderungan untuk membentuk karbida semakin tinggi. Hal ini terbukti pada paduan Fe-17Cr-14Mn dan Fe-17Cr-16Mn. Dengan kadar karbon 0.4%, paduan Fe-17Cr-14Mn dapat membentuk karbida $M_{23}C_6$. Sedangkan dengan 0.62%C paduan Fe-17Cr-16Mn membentuk fasa karbida $Cr_2Fe_{14}C$.

Tabel 4.3 Prediksi fasa menggunakan diagram schaeffler dan hasil pengujian XRD

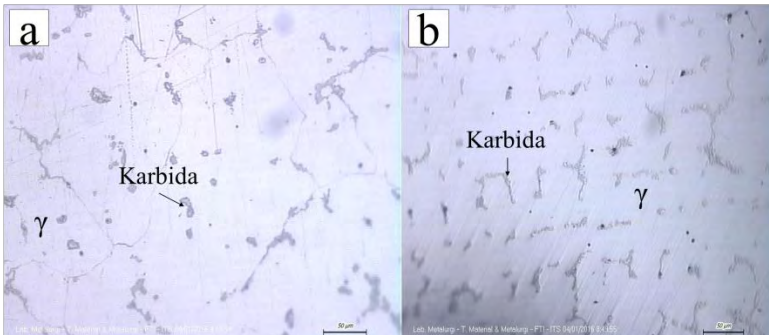
| Paduan | Prediksi | Hasil XRD |
|--------------|----------|-----------|
| Fe-17Cr-10Mn | A | A+F |
| Fe-17Cr-12Mn | A | A+F |
| Fe-17Cr-14Mn | A | A |
| Fe-17Cr-16Mn | A | A |

4.4 Struktur Mikro Baja Paduan Fe-17Cr-xMn



Gambar 4.3 Struktur mikro (a) Fe-17Cr-10Mn (b) Fe-17Cr-12Mn

Gambar 4.3 menunjukkan struktur mikro dari paduan Fe-17Cr-10Mn, Fe-17Cr-12Mn dengan perlakuan yang sama yaitu didinginkan didalam krusibel dan ditutup. Struktur mikro paduan Fe-17Cr-10Mn dan Fe-17Cr-10Mn terdiri dari fasa ferit dan fasa austenit. Fasa ferit berwarna lebih gelap sedangkan fasa austenit berwarna terang. Ferit terbentuk ketika pada temperatur tertentu austenit harus bertransformasi menjadi ferit karena tingkat energi tidak cukup untuk melarutkan karbon pada jumlah banyak. Proses pengintian ferit terjadi pada batas butir austenit karena batas butir merupakan wilayah yang paling tidak stabil. Kemudian ferit mulai berkembang menjadi lebih besar. Unsur Mn sebagai penstabil austenit memiliki peran besar dalam menurunkan temperatur transformasi austenit-ferit.



Gambar 4.4 Struktur mikro (a) Fe-17Cr-14Mn (b) Fe-17Cr-16Mn

Hasil uji struktur mikro paduan Fe-17Cr-14Mn dan Fe-17Cr-16Mn menunjukkan fasa austenit dan terdapat karbida yang terbentuk pada batas butir. Unsur krom merupakan salah satu unsur pembentuk karbida, pada kadar karbon yang tinggi maka kemungkinan unsur krom untuk membentuk karbida semakin tinggi. Suatu paduan logam membutuhkan tingkat energi dan komposisi kimia tertentu untuk membentuk suatu larutan padat atau membentuk senyawa. Komposisi kimia paduan Fe-17Cr-14Mn dan Fe-17Cr-16Mn telah cukup untuk membentuk senyawa karbida. Sepanjang proses pendinginan terjadi beberapa peristiwa pembentukan larutan padat substitusional dan pembentukan senyawa. Pada temperatur tinggi, austenit dapat melarutkan unsur krom dan karbon dalam jumlah yang cukup banyak. Namun, ketika temperatur turun, maka kemampuan austenit melarutkan krom dan karbon turun karena tingkat energinya lebih rendah. Dalam kondisi ini krom dan karbon masih belum stabil dan belum dapat bereaksi. Namun ketika temperatur turun lebih rendah lagi sampai pada temperatur pembentukan senyawa karbida, yaitu antara 900-600°C, unsur krom dan karbon mulai bereaksi secara kimia membentuk karbida. Proses pembentukan karbida dapat

diprediksi menggunakan diagram fasa Fe-C dengan 12.8%Cr dan 0.65%Mn pada Gambar 2.10. Dengan peningkatan kadar Mn pada baja paduan menurunkan temperatur austenit, akibatnya daerah $\gamma + M_{23}C_6$. Dengan demikian maka dapat diprediksi bahwa dengan komposisi 17%Cr dan 10.2%Mn dan 10.7%Mn pada temperatur kamar dapat terbentuk suatu senyawa karbida.

4.5 Pengaruh Mn terhadap kekerasan Fe-17Cr-xMn

Tabel 4.4 Kekerasan paduan Fe-17Cr-xMn (10,12,14,16%Mn)

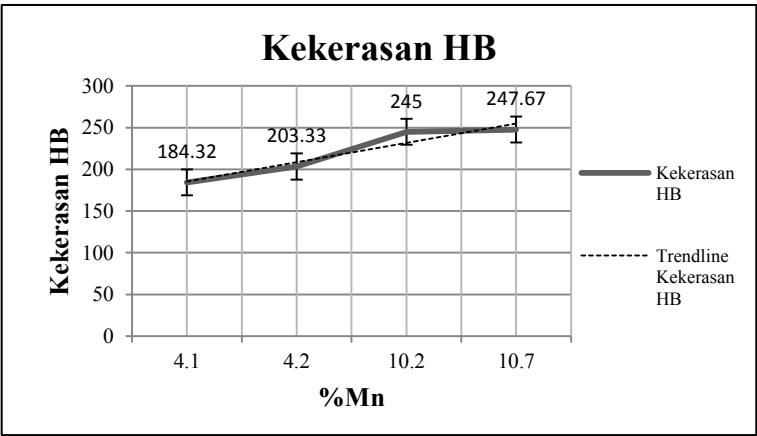
| Paduan | Kekerasan HB |
|--------------|--------------------|
| Fe-17Cr-10Mn | 184.32 \pm 18.20 |
| Fe-17Cr-12Mn | 203.33 \pm 5.30 |
| Fe-17Cr-14Mn | 247.67 \pm 13.67 |
| Fe-17Cr-16Mn | 245.00 \pm 14.00 |

Hasil pengukuran kekerasan brinell pada Tabel 4.2 menunjukkan peningkatan nilai kekerasan dengan bertambahnya Kadar mangan (Mn) dan karbon. Nilai kekerasan paduan meningkat dari 184.32HB untuk paduan Fe-17Cr-10Mn, 203.33HB untuk paduan Fe-17Cr-12Mn dan yang tertinggi adalah 247.67HB untuk paduan Fe-17Cr-14Mn. Dari ketiga paduan tersebut dapat diketahui bahwa peningkatan nilai kekerasan sebanding dengan peningkatan Kadar mangan dan karbon.

Peningkatan kekerasan menjadi tidak sebanding dengan peningkatan Kadar karbon pada paduan Fe-17Cr-16Mn. Paduan Fe-17Cr-16Mn memiliki nilai kekerasan 245HB, lebih rendah daripada paduan Fe-17Cr-14Mn. Meskipun Kadar karbon paduan Fe-17Cr-16Mn lebih tinggi daripada Fe-17Cr-14Mn, paduan Fe-17Cr-16Mn memiliki kekerasan lebih rendah daripada Fe-17Cr-14Mn. Namun nilai kekerasan paduan masih sebanding dengan Kadar mangan (Mn) pada keempat paduan. Kadar mangan

meningkat dari paduan Fe-17Cr-10Mn sampai paduan Fe-17Cr-14Mn, kemudian turun pada paduan Fe-17Cr-16Mn, begitu juga dengan nilai kekerasan paduan Fe-17Cr-xMn, nilai kekerasan meningkat dari paduan Fe-17Cr-10Mn sampai paduan Fe-17Cr-14Mn, kemudian turun pada paduan Fe-17Cr-16Mn. Dengan hasil ini maka dapat diketahui bahwa nilai kekerasan paduan Fe-17Cr-xMn dipengaruhi oleh Kadar Mangan (Mn) pada paduan.

Seperti yang telah dibahas pada subbab sebelumnya bahwa volume Kristal BCC pada paduan Fe-17Cr-12Mn lebih besar daripada volume Kristal BCC paduan Fe-17Cr-10Mn. Dengan volume yang lebih besar paduan Fe-17Cr-12Mn mampu melarutkan lebih banyak karbon dan mangan kedalam struktur kristalnya. Hal ini memiliki pengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan pada paduan paduan Fe-17Cr-12Mn. Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh perubahan Kadar mangan terhadap kekerasan baja paduan Fe-17Cr-xMn.



Gambar 4.5 Pengaruh perubahan Kadar mangan terhadap kekerasan baja paduan Fe-17Cr-xMn.

Kadar mangan pada paduan Fe-17Cr-xMn berperan penting dalam pembentukan larutan padat sehingga dapat meningkatkan kekerasan baja paduan Fe-17Cr-xMn. Ada dua kriteria larutan padat yang terjadi yaitu larutan padat substitusional dan interstisial. Mangan larut kedalam paduan secara substitusi karena perbedaan diameter tidak lebih besar dari 15%. Jari-jari atom dari Fe adalah 156pm sedangkan jari-jari atom mangan adalah 161pm. Kehadiran Mn sebagai atom terlarut dalam paduan mensubstitusi Fe sebagai pelarut. Akibatnya, baik struktur BCC maupun FCC menjadi lebih keras. Semakin tinggi Kadar mangan maka semakin banyak atom mangan yang terlarut didalam ferit dan austenit sehingga semakin banyak juga atom mangan yang mensubstitusi atom Fe. Dengan meningkatnya substitusi atom Fe dengan atom mangan, maka kekerasan semakin meningkat.

Senyawa karbida dalam paduan juga berperan dalam meningkatkan nilai kekerasan paduan. Pada paduan Fe-17Cr-14Mn dan Fe-17Cr-16Mn terjadi peningkatan kekerasan yang cukup tinggi. Nilai kekerasan ini juga dipengaruhi oleh adanya fasa karbida pada paduan tersebut. Untuk mengetahui hal ini dapat dibandingkan pada keempat paduan, paduan Fe-17Cr-10Mn dan Fe-17Cr-12Mn memiliki perbedaan kekerasan yang tidak jauh, namun paduan Fe-17Cr-12Mn dan Fe-17Cr-14Mn memiliki perbedaan yang cukup jauh. Peningkatan kekerasan oleh peningkatan mangan yang terlarut dalam austenit tidak bisa meningkatkan nilai kekerasan sebanyak itu. Dengan melihat struktur mikro pada paduan Fe-17Cr-14Mn dan Fe-17Cr-16Mn, dapat diketahui bahwa selain unsur mangan, karbida juga meningkatkan nilai kekerasan kedua paduan tersebut.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Peningkatan kadar Mn pada baja paduan Fe-17Cr-xMn, menurunkan jumlah fasa ferit dan meningkatkan fasa austenit.
2. Peningkatan kadar Mn pada baja paduan Fe-17Cr-xMn, meningkatkan nilai kekerasan baja paduan. Paduan Fe-17Cr-14Mn dengan 10.7%Mn memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 247.67 HB.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan :

1. Berat *ferromangan* pada *material input* disarankan untuk dlebihkan dari prosentase seharusnya karena unsur mangan mudah teroksidasi.
2. Proses *blowing* oksigen disarankan untuk mengurangi kadar karbon pada paduan sampai komposisi karbon maksimum 0.15%C.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran I Spesifikasi *raw material*

a. Baja karbon Fe-C AISI 1006

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

| | | | |
|-------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Sample ID : | 1 | Material : | CARBON STEEL |
| Customer : | ADHA ISORI HARTATA | Dimension : | - |
| Lab-no. : | UJI BAHAN | Heat-no. : | - |
| Operator : | ELHAM | Ka. Laboratorium : | M.THORIQ WAHYUDI |
| Date: | 3/31/2015 | | |

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|-----|------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|----------|
| 1 | 99.5 | 0.0378 | 0.0205 | 0.211 | 0.0094 | 0.0089 | 0.0304 | < 0.0050 |
| 2 | 99.5 | 0.0373 | 0.0199 | 0.208 | 0.0092 | 0.0079 | 0.0253 | < 0.0050 |
| 3 | 99.5 | 0.0324 | 0.0195 | 0.211 | 0.0086 | 0.0072 | 0.0270 | < 0.0050 |
| Ave | 99.5 | 0.0358 | 0.0200 | 0.210 | 0.0091 | 0.0080 | 0.0276 | < 0.0050 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|-----|--------|--------|----------|--------|--------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.0305 | 0.0454 | < 0.0050 | 0.0363 | 0.0103 | 0.0066 | < 0.0050 | < 0.0050 |
| 2 | 0.0308 | 0.0449 | < 0.0050 | 0.0377 | 0.0122 | < 0.0050 | < 0.0050 | < 0.0050 |
| 3 | 0.0284 | 0.0450 | < 0.0050 | 0.0384 | 0.0106 | < 0.0050 | < 0.0050 | < 0.0050 |
| Ave | 0.0292 | 0.0454 | < 0.0050 | 0.0375 | 0.0140 | < 0.0050 | < 0.0050 | < 0.0050 |

| | Pb |
|-----|----------|
| 1 | < 0.0050 |
| 2 | < 0.0050 |
| 3 | < 0.0050 |
| Ave | < 0.0050 |

b. *Low carbon Ferrochrom*

CERTIFICATE OF ANALYSIS AND WEIGHT

Our Invoice No. : X 489

Order No. : #0114000243

Material : Low Carbon Ferro Chrome 010

Size : 10 - 30mm (90% min.)

We hereby certify that the weight and the chemical analysis of the above material is as follows:-

Chemical Analysis:

| | |
|----|----------|
| Cr | : 69.00% |
| C | : 0.067% |
| Si | : 0.90% |
| S | : 0.010% |
| P | : 0.028% |

Weight: 25,000 mt nett in 1 metric ton bulk bags.

Selling ex Vostochny to Jakarta per 'Hyundai Future' Voy. 472 on 4 September 2014.


**For and on behalf of
INNOMET**

c. *Medium carbon Ferromanganese*

| | |
|--|----------------------------|
| Name of Goods: MEDIUM CARBON FERRO MANGANESE | SIMPAC METAL CO. LTD |
| Buyer : PT MAKMUR META GRAHA DINAMIKA | 438 JEONGMI-RO, JEONGMI-M1 |
| JL. ROA MALAKA SELATAN NO. 28/10 | CHUNGCHBONGNAM-DO, 343- |
| JAKARTA 11230 | |

| | Chemical Composition(%) | | | | | Size(%) | | | Remarks |
|----------|-------------------------|------|------|-------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | Mn | Si | C | P | S | -10mm | 10~50mm | + 50mm | |
| FeMn(MC) | 76.25 | 0.35 | 1.92 | 0.201 | 0.0031 | 3.30 | 96.54 | 0.16 | |

Lampiran III Hasil Uji Komposisi OES

a. Fe-17Cr-10Mn



barata indonesia PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : SS 200.10% Mn

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No : 17122015/00

Material :

Spektroanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni |
|-----|------|------|-----|-----|--------|-------|------|--------|------|
| I | 85,2 | 0,29 | 1,4 | 4,1 | 0,0655 | 0,012 | 16,2 | 0,0126 | 3,71 |
| Ave | 85,2 | 0,29 | 1,4 | 4,1 | 0,0655 | 0,012 | 16,2 | 0,0126 | 3,71 |

| | Al | Co | Cu | Sb | Ti | V | W | Pb | Sn |
|-----|--------|------|-------|--------|-------|-------|--------|----------|----------|
| I | 0,0107 | 0,01 | 0,007 | 0,0643 | 0,009 | 0,039 | 0,0306 | < 0,0025 | < 0,0005 |
| Ave | 0,0107 | 0,01 | 0,007 | 0,0643 | 0,009 | 0,039 | 0,0306 | < 0,0025 | < 0,0005 |

| | B | Ca | Se | N |
|-----|--------|--------|----------|-------|
| I | 0,0007 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,095 |
| Ave | 0,0007 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,095 |

Town
Gresik

Date
17/12/2015

Tester
Agung Setiawan

QC. Manager
Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

b. Fe-17Cr-12Mn



UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : SS 200 12% Mn

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No : 17122015/00

Material :

| Spektroanalyzer Foundry-MASTER | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni |
| 1 | 85,2 | 0,34 | 1,55 | 4,2 | 0,0601 | 0,013 | 16,2 | 0,0129 | 3,35 |
| Ave | 85,2 | 0,34 | 1,56 | 4,2 | 0,0601 | 0,013 | 19,2 | 0,0129 | 3,35 |
| | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W | Pb | Sn |
| 1 | 0,089 | 0,0352 | 0,017 | 0,0563 | 0,006 | 0,0384 | 0,0282 | < 0,0025 | < 0,0005 |
| Ave | 0,089 | 0,0352 | 0,017 | 0,0563 | 0,006 | 0,0384 | 0,0282 | < 0,0025 | < 0,0005 |
| | B | Ca | Se | N | | | | | |
| 1 | 0,0007 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,0112 | | | | | |
| Ave | 0,0007 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,0112 | | | | | |

Town

Date

Tester

QC. Manager

Gresik

17/12/2015

Agung Setiawan

Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

c. Fe-17Cr-14Mn



barata indonesia PT. (PUSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : SS 200 14% Mn Customer :
Furnace : Name of Equipment :
Heat No : Order No :
Lab. No : 17122015/00 Material :

| Spektralanalyzer Foundry-MASTER | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| Grade: | | | | | | | | | |
| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni |
| 1 | 65,2 | 0,402 | 0,592 | 10,7 | 0,0667 | 0,0103 | 17,9 | 0,0112 | 4,65 |
| Ave | 65,2 | 0,402 | 0,592 | 10,7 | 0,0667 | 0,0103 | 17,9 | 0,0112 | 4,65 |
| | | | | | | | | | |
| | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W | Pb | Sb |
| 1 | 0,0071 | 0,0370 | 0,0314 | 0,0483 | 0,0021 | 0,0378 | 0,0258 | < 0,0025 | < 0,0005 |
| Ave | 0,0071 | 0,0370 | 0,0314 | 0,0483 | 0,0011 | 0,0378 | 0,0258 | < 0,0025 | < 0,0005 |
| | | | | | | | | | |
| | B | Ca | Se | U | | | | | |
| 1 | 0,0007 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,138 | | | | | |
| Ave | 0,0007 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,138 | | | | | |

Town Gresik Date 17/12/2015 Tester Agung Setiawan QC. Manager Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

d. Fe-17Cr-16Mn



UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : SS 200 16% Mn

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No : 17122015/00

Material :

| Spektroanalyzer Foundry-MASTER | | | | Grade : | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|----------|----------|--|--|
| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | | |
| 1 | 64,2 | 0,620 | 1,20 | 10,2 | 0,0730 | 0,0121 | 18,3 | 0,0105 | 4,75 | | |
| Ave | 64,2 | 0,620 | 1,20 | 10,2 | 0,0730 | 0,0127 | 18,3 | 0,0105 | 4,75 | | |
| | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W | Pb | Sn | | |
| 1 | 0,0053 | 0,0388 | 0,0311 | 0,0403 | 0,0050 | 0,0372 | 0,0234 | < 0,0025 | < 0,0005 | | |
| Ave | 0,0053 | 0,0388 | 0,0311 | 0,0403 | 0,0050 | 0,0372 | 0,0234 | < 0,0025 | < 0,0005 | | |
| | B | Ca | Se | Pb | | | | | | | |
| 1 | 0,0008 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,223 | | | | | | | |
| Ave | 0,0008 | 0,0001 | < 0,0035 | 0,223 | | | | | | | |

Town
Gresik

Date
17/12/2015

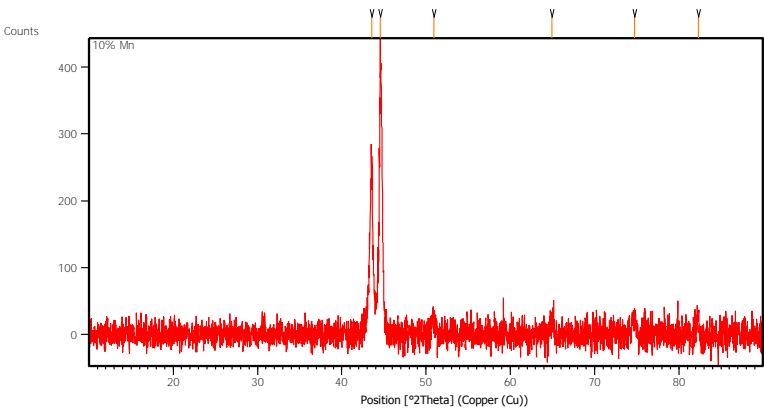
Tester
Agung Setiawan

QC. Manager
Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

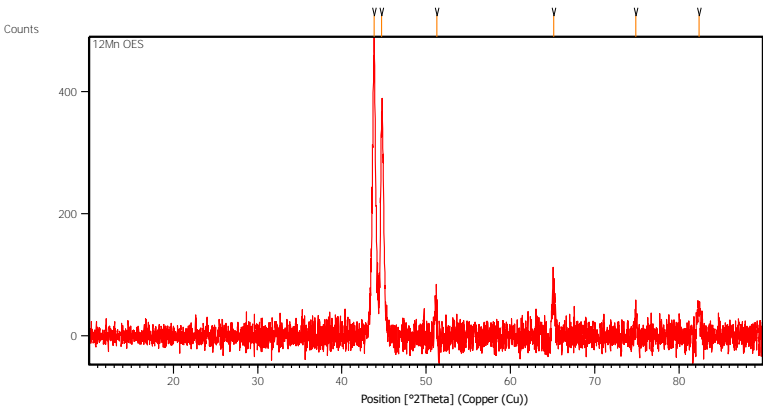
Lampiran IV Hasil Uji XRD

a. Fe-17Cr-10Mn



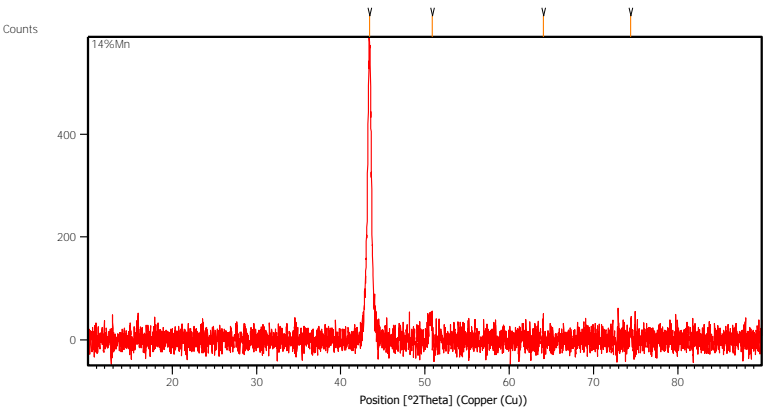
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|-----------------|--------------|----------------------|------------------|---------------|
| 43.5351 | 241.78 | 0.2007 | 2.07888 | 57.49 |
| 44.5965 | 420.57 | 0.3680 | 2.03184 | 100.00 |
| 50.9393 | 47.31 | 0.8029 | 1.79274 | 11.25 |
| 64.9454 | 66.19 | 0.5353 | 1.43591 | 15.74 |
| 74.7473 | 39.86 | 0.8029 | 1.27006 | 9.48 |
| 82.2991 | 71.51 | 0.3011 | 1.17159 | 17.00 |

b. Fe-17Cr-12Mn



| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|-----------------|--------------|----------------------|---------------|---------------|
| 43.8064 | 451.30 | 0.2676 | 2.06663 | 100.00 |
| 44.7382 | 354.00 | 0.3680 | 2.02574 | 78.44 |
| 51.2674 | 90.42 | 0.3680 | 1.78204 | 20.03 |
| 65.1075 | 111.27 | 0.4015 | 1.43273 | 24.66 |
| 74.8818 | 60.06 | 0.5353 | 1.26811 | 13.31 |
| 82.3695 | 94.84 | 0.4015 | 1.17077 | 21.02 |

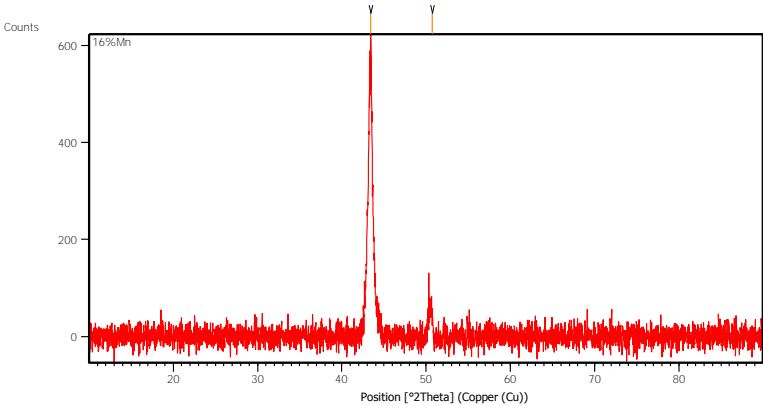
c. Fe-17Cr-14Mn



| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 43.4455 | 568.85 | 0.3680 | 2.08296 | 100.00 |
| 50.8656 | 114.18 | 0.7360 | 1.79516 | 20.07 |
| 64.0856 | 9.15 | 0.1171 | 1.45308 | 1.61 |
| 74.3760 | 35.30 | 0.4015 | 1.27547 | 6.20 |

| Visible | Ref. Code | Compound Name | Displacement [°2Th.] | Chemical Formula |
|---------|-------------|------------------|----------------------|------------------|
| * | 01-075-8276 | Chromium Carbide | 0.640 | Cr23 C6 |
| * | 00-047-1417 | Iron Nickel | -0.013 | (Fe , Ni) |

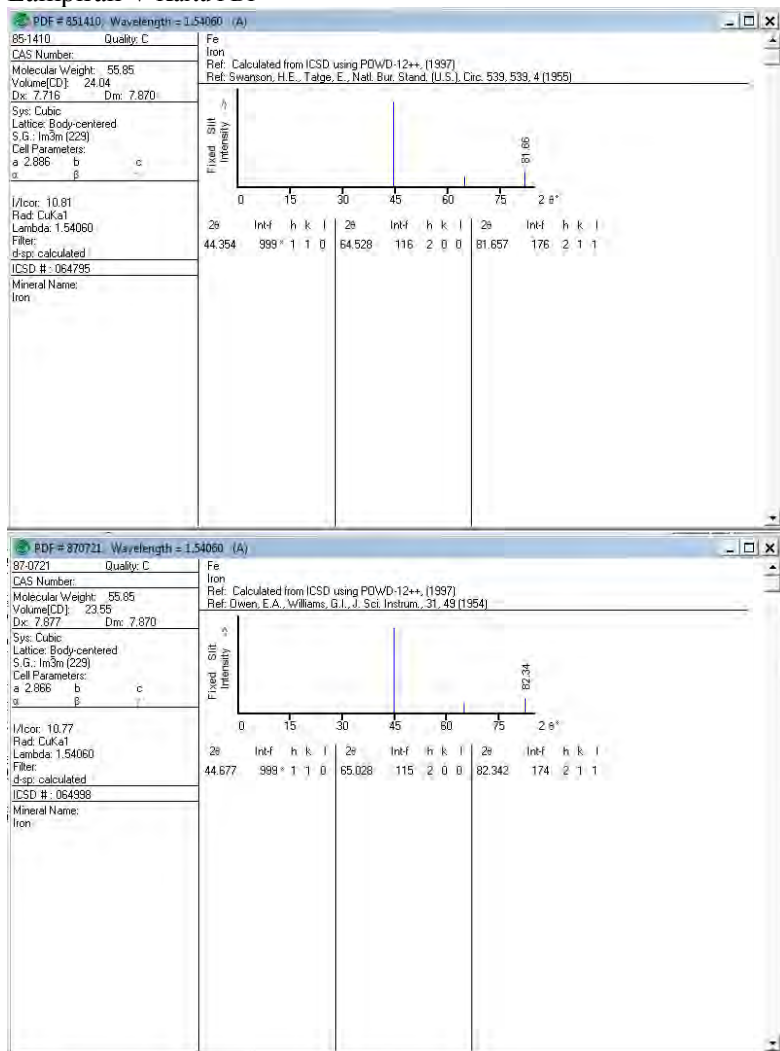
d. Fe-17Cr-16Mn

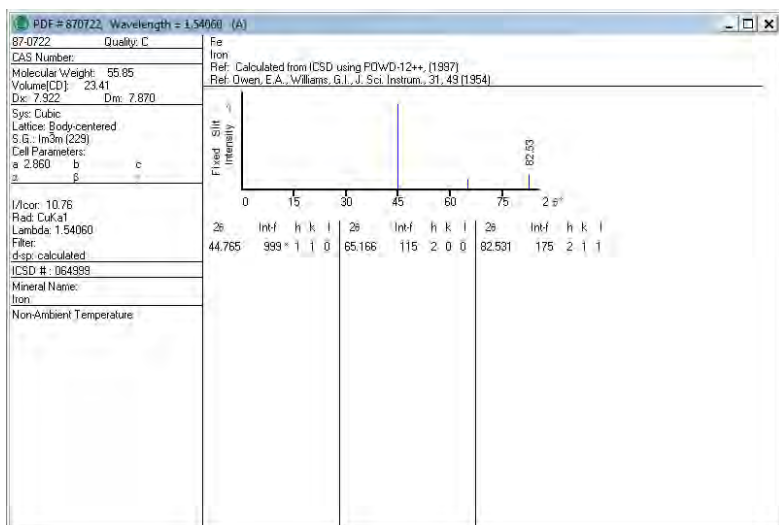


| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|-----------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 43.4373 | 571.76 | 0.3680 | 2.08334 | 100.00 |
| 50.7214 | 112.84 | 0.6022 | 1.79993 | 19.74 |

| Visible | Ref. Code | Compound Name | Displacement [°2Th.] | Chemical Formula |
|---------|-------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|
| * | 01-089-7245 | Chromium Iron Carbide | 0.006 | Cr ₂ Fe ₁₄ C |
| * | 00-047-1417 | Iron Nickel | 0.006 | (Fe , Ni) |

Lampiran V Kartu PDF





Lampiran VI Proses Peleburan Baja Paduan



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Agunsoye, J. O., Isaac, T. S., & Abiona, A. A. (2013). On the Comparison of Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of High Chromium White Cast iron with the Hadfield Austenitic Manganese Steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 24-28.
- ASTM International. (2004). *Standard Specification for Chromium-Nickel Stainless Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and General Applications*.
- Avner, S. H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy*. New York: Mc-Graw-Hill Book Company.
- Baddo, N., Burgan, R., & Orgen, R. (1997). *Architects' Guide To Stainless Steel*. Berkshire: The Steel Construction Institute.
- Barker, K. (1998). *The Making and Treating of Steel*. Pittsburg: The AISE Steel Foundation.
- Brady, G. S. (2002). *Materials Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Bralla, J. G. (2006). *Handbook of Manufacturing Process*. New York: Industrial Press, Inc.
- C.V, R., K.J, G., & G.W, L. (1984). Stainless Steel. *Stainless Steel'84* (p. 563). Goteborg: Chalmers University of Technology.
- Callister, W. D. (2009). *Materials Science and Engineering an Introduction*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Cardarelli, F. (2008). *Materials Handbook A Concise Desktop Reference Second Edition*. London: Springer.
- Durand, M., & Charre. (2003). *Microstructure of Steels and Cast Iron*. New York: Springer.
- Guertin, J. (2005). *Chromium (VI) Handbook*. New York: CRC Press.
- Haq, I.-u., Hyun, P. J., & Kwon, H. S. (2008). Development of High Mn-N duplex Stainless Steel for Automobile Structural Component. *Corrosion Science*, 404-410.
- Kubaschewski, O. (1982). *Iron-binary Phase Diagrams*. Berlin: Springer.
- Li, J., Xu, Y., Xiao, X., Zhao, J., Jiang, L., & Hu, J. (2009). A new resource-saving, high manganese and nitrogen super duplex stainless steel 25Cr-2Ni-3Mo-xMn-N. *ELSEVIER*, 246-249.
- Lo, K., Shek, C., & Lai, J. (2009). Recent Development in Stainless steels. *Materials Science and Engineering*, 39-104.
- Outokumpu. (2013). *Handbook of Stainless Steel*. Avesta: Sandvikens Tryckeri.
- Sadeqhpour, S., Kermanpur, A., & Najafizadeh, A. (2014). Investigation of the effect of grain size on the strain-induced martensitic transformation in a high-Mn stainless steel using nano indentation. *Materials Science and Engineering*, 214-216.
- Schwartz, M. (2002). *Encyclopedia of Materials Parts and Finishes*. Florida: CRC Press.
- Seetharman, S. (2014). *Treatise of Process Metallurgy Industrial Process*. Oxford: Elsevier Ltd.
- Shaposnikov, N. G., & Mogutnov, B. M. (2007). Paraequilibria in the Fe-Cr(Ni,Mn)-C Systems And Their Effect on Phase Transformation. *Russian Metallurgy*, 153-160.
- Talha, M., Behera, C. K., & Sinha, O. P. (2013). A Review on Nickel-free Nitrogen Containing Austenitic Stainless Steels for Biomedical Applications. *Materials Science and Engineering*, 3563-3575.
- Wang, B., Liu, Z., & Li, J. (2013). Microstructure evolution in AISI 201 austenitic stainless steel during the first compression cycle of multi axial compression. *Materials Science and Engineering*, 20-24.
- Zhao, C., Zhang, C., Cao, W., Yang, Z., Dong, H., & Weng, Y. (2014). Austenite Thermal Stabilization Through the Concentration of Manganese and Carbon in the 0.2C-5Mn Steel. *ISIJ International*, 2875-2880.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Biodata Penulis



Imam Syafi'udin, lahir di Nganjuk 17 November 1994. Penulis tamat dari bangku sekolah dasar SDN Bagorkulon I di tahun 2006 dan melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Bagor kemudian melanjutkan di SMA Negeri 1 Nganjuk dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Selama menjalankan studi di ITS penulis aktif dalam beberapa organisasi antara lain Koordinator BoDA Kementrian SOSPOL BEM ITS, staff Departemen Keilmiah HMMT dan staff Departemen Rumah Tangga LDJ Ash-habul kahfi. Selain itu penulis juga pernah menjadi asisten Laboratorium Fisika Dasar dan asisten Praktikum Teknologi Cor. Penulis pernah mengikuti sejumlah pelatihan antara lain *Quality Control Analysis Training with Statistical Software in Industrial Sector*, Workshop Teknologi Material (Ekstraksi) dan *Workshop of Assesment Method for Industrial Equipment*. Penulis pernah melaksanakan Program Kerja Praktek di PT. Krakatau POSCO dengan topik Proses *steel making* dan *continuous casting*. Penulis dapat dihubungi melalui email imam12@mhs.mat-eng.its.ac.id atau imamsya17@gmail.com.

(halaman ini sengaja dikosongkan)